VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Vliv elektrické vozby na úložná zařízení

Influence of Electic Railways on Subterranean Constructions

2013 **Bc. Jiří Plaček**

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jiří Plaček**

Studijní program: N2649 Elektrotechnika

Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika

Téma: Vliv elektrické vozby na úložná zařízení
Influence of Electric Railways on Subterranean Constructions

Zásady pro vypracování:

1. Zemní proudová pole
2. Ochrany úložných zařízení před elektrochemickou korozí
3. Měření na vybraném objektu
4. Vyhodnocení měření

1. Earth current field
2. Protection of Subterranean Construction from Electrochemical Corrosion
3. Measurement on a Selected Object
4. Evaluation of the Measurement

Seznam doporučené odborné literatury:

[1] Paleček J., Vybrané kapitoly z problematiky elektrotechniky v dopravním inženýrství, VŠB-TU Ostrava 1996
[2] Koroze úložných zařízení 95, sborník Košice 28.-29.6.1995
[3] ČSN EN 50122-2 Drážní zařízení-Pevná trakční zařízení – Část2: Ochranná opatření proti účinkům bludných proudů, způsobených DC trakčními proudovými soustavami, platná od 2001

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Josef Paleček, CSc.**

Datum zadání: 30.11.2012
Datum odevzdání: 07.05.2013

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry

prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně.
Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě, dne 20.4.2013

Bc. Jiří Plaček

Poděkování

Zde bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Josefu Palečkovi, CSc., Dušanovi Šebestovi a Ing. Petru Konečnému, za odborné rady a konzultace k této diplomové práci.

Abstrakt

Ve své diplomové práci se zabývám vlivy elektrické vozby na úložná zařízení. Cílem této práce je stanovit teoretická východiska k vybranému tématu diplomové práce a provedení praktického měření na vybraném objektu. V práci jsou popsána ochranná opatření, která vedou k snížení bludných proudů. Rovněž je popsána problematika aplikace aktivních ochran proti účinkům bludných proudů při řešení ochrany železobetonových konstrukcí.

V první části diplomové práce jsou popsány základní pojmy elektroenergetiky v dopravě, trakční napájecí soustavy, zpětná vedení, zemní proudová pole, koroze ocelové výztuže v železobetonu a možnosti omezení vzniku bludných proudů.

Druhá část diplomové práce obsahuje popis ochran úložných zařízení před elektrochemickou korozí, způsobenou bludnými proudy. Tyto ochrany a opatření je nutné provádět na základě požadavků, které jsou stanoveny v příslušných normách ČSN řešící problematiku trakčních zařízení.

Ve třetí a čtvrté části jsou popsána a zpracována měření, která byla provedena na vybraném objektu měnírny Vřesina a trakčním zařízení. V závěru je provedeno vyhodnocení měření na daném objektu.

Klíčová slova

Elektrická vozba, trakční napájecí stanice, trakční proudová soustava, bludný proud, elektrochemická koroze, úložná zařízení

Abstract

In this thesis, I study the effects of electric traction on the electric insulation. The aim of this work is to determine the theoretical findings of the selected topic of the thesis and to carry out practical measurements of the selected object. The paper describes the protective measures that lead to the reduction of stray currents. It also describes the issue of the application of active protection against the effects of stray current in the terms of protection of reinforced concrete structures.

The first part of the thesis describes the basic concepts of electrical engineering in transport, traction power supply, return lines, natural flow patterns, corrosion of steel reinforcement in concrete, possible ways of stray currents restrictions and some possible solutions to how to limit stray currents.

The second part contains a description of protective measures against electrochemical corrosion caused by stray currents. It is vital that the set of given protective measures is carried out in accordance with the relevant IEC standards relating to matters of traction devices.

Third and fourth part of the thesis give description of the work and data collected at the converting substation Vresina. The evaluation of the elements measured is given in the conclusion.

Keywords

Electric traction, traction distribution station, traction current system, stray current, electrochemical corrosion, electric insulation

Seznam použitých zkratek

AŽD	Automatizace železniční dopravy
ČD	České dráhy
ČKD	Českomoravská Kolben Daněk
ČR	Česká republika
ČSN	Česká technická norma
DC	stejnosměrný
e	elektron
EN	evropská norma
Fe	železo
K	koroze
kS	symbolová rychost
H	vodík
M	množství vyloučeného kovu
NN	nízké napětí
NS	napájecí skříň
O	kyslík
pH	potential of hydrogen tj. „potenciál vodíku“
SO_4	síran měďnatý
ss	stejnosměrný
stř	střídavý
SŽDC	Správa železniční dopravní cesty
TM	trakční měnírna
TNS	trakční napájecí stanice
TT	trakční transformovna
tzv.	takzvané
TV8	trakční výzbroj
TVS	transformátor vlastní spotřeby
viz	odkaz na jiné místo v textu
VN	vysoké napětí
VVN	velmi vysoké napětí
ZS	zpětná skříň

Seznam použitých veličin a jednotek

A	ampér
E	energie, jednotka J
E_e	elektrochemický ekvivalent kovu, jednotka $kg.A^{-1}.h^{-1}$
f	frekvence, jednotka Hz
G	vodivost, jednotka S
g	gram
Hz	hertz
h	hodina
I	proud, jednotka A
j	proudová hustota, jednotka $A.m^2$
kg	kilogram
km	kilometr
MV.A	megavoltamepér
m	metr
mm	milimetr
P	výkon, jednotka W
R	elektrický odpor, jednotka Ω
S	siemens
S	zdánlivý výkon, jednotka V.A
s	sekunda
U	napětí, jednotka V
V	volt
W	watt
%	procento
τ	doba průchodu proudu, jednotka s
ρ	rezistivita, jednotka Ω.m
Ω	ohm
ω	úhlová rychlost, jednotka $rad*s^{-1}$
δ	relativní chyba
Δ	absolutní chyba

Obsah

1. ÚVOD

Na území České republiky má železniční doprava své počátky již v první třetině 19. století. V roce 1828 se stala koněspřežná dráha Linz - České Budějovice první železnicí. Začátek elektrizace železnic v České republice je spojen s rokem 1903, ve kterém proběhla elektrizace dráhy Tábor – Bechyně v délce 26 km.

Problémem elektrizovaných drah stejnosměrným systémem je elektrochemická koroze, která je způsobena bludnými proudy. Nejvýznamnějším zdrojem bludných proudů je železniční trať, která je elektrizovaná stejnosměrným proudovým systémem a jako zpětného vodiče se využívá kolejnic, přičemž část z celkového zpětného proudu prochází zemí. Toto je způsobováno především takovým způsobem, že kovová i železobetonová zařízení, nejsou dostatečně dobře elektricky izolována od země. Z tohoto důvodu mohou vést úložná zařízení značnou část proudu s intenzitou dosahující až několik desítek ampér. Na základě Faradayova zákona se odvozuje, že stejnosměrný bludný proud o velikosti 1 A způsobí za jeden rok elektrochemickou korozí ztrátu železa o hmotnosti 9,1 kg na každém výstupu proudu.

Bludnými proudy nazýváme elektrické proudy, které protékají vodivým prostředím (např. půdou, vodou, úložným zařízením). Tyto bludné proudy pocházející z elektrických zařízení nedostatečně izolovaných od tohoto prostředí anebo používajících země jako zpětného vodiče. Bludné proudy se dělí dle druhu ss a střídavé.

V této diplomové práci posuzuji vliv elektrické vozby na úložná zařízení z pohledu bludných proudů, které vznikají provozem trakční elektrické vozby. Cílem této práce je zhodnocení současného stavu vlivu trakční měnírny na úložná zařízení, součástí diplomové práce je zhodnocení unikajících proudů z trakčních zařízení a uvedení přehledu možných technických řešení pro zmírnění bludných proudů ve vybraném trakčním úseku.

V kapitole zemní proudová pole jsou popsány základní pojmy a vlastnosti trakčních proudových soustav, jež se vyskytují v České republice. Tato kapitola obsahuje popis základních způsobů napájení trakční sítě, kde jsou rozděleny napájecí proudové soustavy na ss a stř. Zde je popsána i problematika zemních proudových polí. Následující kapitola popisuje ochrany úložných zařízení před elektrochemickou korozí, základy a možnosti protikorozní ochrany. Dále jsou rovněž popsány aktivní protikorozní ochrany, jako jsou např. elektrická drenáž a katodická ochrana.

V následující kapitole se věnuji měření na vybraném objektu. Pro účely měření jsem v této diplomové práci vybral trakční měnírnu Vřesina, ze které byl napájen trakční úsek Vřesina až Zátiší. Na tomto vybraném trakčním úseku bylo provedeno vlastní měření proudů ve vybraných místech. Rovněž je v této kapitole uveden popis elektrického vybavení trakční měnírny, přístrojů použitých pro vlastní měření a vybraná místa k vlastnímu měření. V průběhu časového úseku, po který bylo prováděno měření je rovněž popsán v této kapitole. V následující poslední kapitole je provedeno vyhodnocení vlastního měření, kde jsou uvedeny výsledky, které jsou zobrazeny pro názornost v grafech. Závěr je věnován popisu možností, které povedou ke snížení unikajících proudů.

2. ZEMNÍ PROUDOVÁ POLE

2.1. Základní pojmy elektroenergetiky v dopravě

Elektrická trakce – je pohon hnacího vozidla, kolejového i nekolejového, elektromotorem, který je nazýván trakční motor.

Elektrická vozba – provoz vozidel s elektrickou trakcí na elektrizovaných drahách nazýváme elektrická vozba. Přívod elektrické energie k těmto drahám je zprostředkován trakčním vedením.

Elektrická trakční soustava – drážní elektrická rozvodná síť používána pro dodávání elektrické energie drážním vozidlům. [26]

Trakční vedení – soustava vodičů dodávající elektrickou energii do hnacích vozidel, která ji odebírají prostřednictvím sběrače proudu. [29]

Trolejové vedení – Hlavní část je tvořena trolejovým vodičem, který je zavěšen na izolačních závěsech. Část trakčního vedení umístěna nad (nebo vedle) horní části obrysu vozidla, která je určena k napájení vozidel elektrickou energií prostřednictvím střešního sběrače. [26]

Trolejový vodič – elektrický vodič trolejového vedení, k němuž přiléhají sběrače proudu. [26]

Trolejový drát – vodič, ke kterému přiléhá v provozu sběrač elektrického vozidla, je tvarový (profilový) zhotovuje se zpravidla elektrolytické mědi. [7]

Trakční napájecí stanice (TNS) – je soubor zařízení, u kterých je hlavní funkcí napájení trakčního vedení. V trakční napájecí stanici je napětí primární napájecí soustavy a v určitých případech i frekvence, převáděno na napětí a frekvenci, která je nezbytná pro napájení příslušného trakčního vedení.

Spínací stanice – jedná se o zařízení, ze kterého může být elektrická energie rozváděna do různých napájecích úseků. Spínací stanice může být využita pro zapínání nebo vypínaní napájecích úseků anebo navzájem propojovat úseky.

Zesilovací vedení – je vedení umístěné na stejné konstrukci jako trolejové vedení. Zesilovací vedení je přímo k trolejovému vedení připojené v určitých vzdálenostech z důvodu zvětšení efektivního průřezu.

Napájecí úsek – část oblasti napájené trakční napájecí stanicí, od ostatních části elektricky oddělená a připojená přes samostatný vypínač. [27]

Klikatost – odchylka trolejového vodiče v místě závěsu, takže vodič tvoří lomenou čáru, tímto způsobem se zajišťuje rovnoměrné opotřebení smýkadla pantografu. [27]

Úsekový dělič – oddělovací místo tvořené izolátory vloženými do trolejového vedení, se sjízdnými lištami nebo podobným zařízením umožňující plynulý odběr proudu sběračem. [27]

Trakční obvod **–** je systém technických zařízení, který umožňuje spolehlivé a bezpečné napájení hnacích vozidel závislé elektrické trakce. Mezi základní součásti trakčního obvodu patří napájecí stanice, trakční vedení, spínací stanice, měnírny apod. [12], [27]

Schéma trakční obvodu jsem graficky znázornil v *příloze A*.

2.2. Dělení hnacích vozidel s elektrickou trakcí

2.2.1. Podle závislosti na přívodu elektrické energie

- Vozidla s elektrickou trakcí ***závislou*** – tramvaj, trolejbus.
- Vozidla s elektrickou trakcí ***nezávislou*** – dieselelektrické vozy.

2.2.2. Podle přenosu trakční síly

- Vozidla ***adhezní*** – trakční síla se přenáší mezi kolem vozidla a kolejnicí adhezí. Tato vozidla jsou využívána pro překonávání stoupání řádově jednotek až desítek promile.
- Vozidla ***ozubnicová*** – trakční síla je přenášena přes pastorek umístěný na vozidle. Pastorek zapadá do hřebenu umístěného mezi kolejnicemi, ozubnicová vozidla vybavená mohou překonávat stoupání stovek promile.
- Vozidla ***nekonvenční*** – do této kategorie jsou zařazeny lanové dráhy nebo nové vysokorychlostní vlaky, které se pohybují po tzv. magnetickém polštáři (označovanými názvem maglev).

2.2.3. Podle rozchodu kolejnic

- Vozidla s *normálním* rozchodem – 1435 mm. Používáno v České republice.
- Vozidla *širokorozchodná* – 1520, 1600, 1620 mm.
- Vozidla *úzkorozchodná* – 600, 650, 700, 750, 900, 1000, 1067 mm.

2.3. Způsoby napájení trakční sítě

Trakční síť je napájena trakčním proudem z trakčních měníren (TM), nebo z trakční transformátorovny (TT). Trakční síť se dělí na úseky, které se odděleně napájejí z důvodu lokalizace poruch, k omezení velikosti napájecích proudů a předepsaných úbytků napětí, které jsou stanoveny. Napájené úseky, lze rozdělit podle způsobu jejich napájení. [3]

2.3.1. Jednostranné soustředěné napájení trakčních úseků

Každý úsek má svůj vlastní napáječ. Ze společné stanice je napájen větší počet trakčních úseků jedná se o jednostranné napájení. Tento způsob je využíván v rozsáhlých kolejištích uzlových stanic anebo v městské dopravě. Trolejové vedené dojkolejové tratě městské dopravy se v úseku připojuje společnému napáječi. K vyššímu využití průřezu se vkládají příčné spojky mezi vedeními a obou kolejí. Mezi výhody tohoto způsobu napájení patří spolehlivá a jednoduchá lokalizace poruch, přehlednost napájecích schémat a dobré využití vodivého průřezu. Nevýhodou tohoto způsobu napájení jsou v některých případech dlouhé napájecí kabely a poměrně krátké délky jednotlivých úseků. [3]

2.3.2. Dvoustranné rozložené napájení trakční sítě

U tohoto způsobu napájení jsou jednotlivé úseky napájeny z obou konců přilehlých napájecích stanic. Tímto způsobem je možné prodloužit délku úseku s ohledem na úbytek napětí. Tohoto způsobu se využívá u dvojkolejných železničních tratí, kde se napájí odděleně trolejové vedení pravé a levé koleje. Výhodou tohoto způsobu napájení úseku je zlepšení lokalizace poruch, možný výlukový provoz na jedné výlukové koleji a energeticky nezávislý provoz na obou kolejích. Nejvhodnější umístění napájecích stanic je v místě úsekového dělení, protože k napájení obou stran trolejového vedení je zapotřebí nejkratšího napájecího vedení. [3]

Bezpečné vypínání poruchového úseku z obou stran je nutné provozním odpínáním úseku zajištěno elektrickou vozbou napáječů tak, že vypínač, který je blíže místu poruchy nebo vypne první, musí rozpojit přídržný obvod vypínače (napáječe) z druhé strany úseku.

2.3.3. Čtyřstranné napájení dvoukolejné tratě s příčnými spínači

Tento způsob napájení, plně využívá vodivého průřezu trolejových a případně i zesilujících vedení obou kolejí. Je účelné provádět příčné spojení na více úsecích. Při proudových poruchách a k provoznímu rozpojení trolejových vedení obou směrů jsou příčné spínače napěťově závislé, tj. vypínají, je-li trolejové vedení bez napětí a samočinně se zapínají v případě, že vedení obou směrů má plné napětí. [3]

2.3.4. Čtyřstranné napájení dvoukolejné tratě se spínací stanicí

Podélným elektrickým rozdělením dvoustranně napájeného dvojkolejného úseku uprostřed a přemostěním dělících míst čtyřmi směrovanými vypínači v provedení obdobném jako v rozvodně napáječů v napájecí stanici vznikne čtyřstranné napájení se spínací stanici. Touto spínací stanicí se získá jednak příčné spojení trolejového vedení obou jízdních směrů, ale i podélné rozdělení úseků k užší lokalizaci poruch. Při proudové poruše v některém místě se totiž vypíná jen poloviční délka jednoho úseku. Směrované ochranné vypínače ve spínací stanici mohou mít elektrickou vazbu s vypínači v přilehlé napájecí stanici, čímž se zvýší bezpečnost vypínaní dílčího úseku z obou stran. [3]

2.4. Trakční napájecí proudové soustavy

Postupným historickým vývojem technologií v oblasti napájení vzniklo a také zaniklo více napájecích proudových soustav. V současné době se k napájení kolejových drah ustálilo na jednovodičovém přívodu, který je tvořen trolejovým nadzemním vedením, v menším měřítku izolovanou kolejnicí. Přívod elektrického proudu do trakčních vozidel je z trakčních napájecích stanic realizován nadzemním vedením a odvod zpět je realizován kolejnicemi. U městských drah je rovněž využíváno zpětných kabelů. Výše popsané uspořádání napájení využívají prakticky všechny elektrické dráhy, i když s menšími modifikacemi u vysokorychlostních tratí.

Trakční proudové napájecí soustavy lze rozdělit:

- Stejnosměrné trakční napájecí proudové systémy
- Střídavé trakční napájecí proudové systémy průmyslového kmitočtu 50 (60) Hz
- Střídavé trakční napájecí proudové systémy sníženého kmitočtu 16 $^{2}/_{3}$ (25) Hz

Otázka volby napájecí proudové soustavy pro elektrizaci železnic a vhodnosti je dosti složitá a je závislá na mnoha okolnostech. Jedná se především o stav techniky a rozsahem již provedené elektrizace. [5]

2.4.1. Stejnosměrné trakční napájecí proudové soustavy

Z trakčních napájecích stanic, které se nazývají trakční měnírny, jsou napájeny stejnosměrné dráhy. V trakčních měnírnách se provádí změna z 3-fázové energetické soustavy na soustavu stejnosměrnou.

Jmenovitá napětí stejnosměrných soustav:

- 250 V pro důlní dráhy hlubinných dolů
- 600 V pro pouliční dráhy tramvajové a trolejbusové
- 750 V pro rychlé městské dráhy (trolejbusové a podzemní dráhy)
- 1500 V pro hlavní a vedlejší železniční tratě a pro průmyslové dráhy
- 3000 V pro hlavní železniční tratě

Při jízdě kolejového vozidla mezi dvěma napájecími stanicemi v důsledku odporu trakčního vedení se mění i napětí na sběrači trakčního vozidla. Z tohoto důvodu je nutná určitá tolerance napájecího napětí. U stejnosměrných trakčních napájecích soustav +20 % a -33 % jmenovitého napětí. Tato tolerance klade na trakční zařízení vysoké nároky jak na výrobce, tak i na provozovatele. Elektrická trakční zařízení pro stejnosměrné jmenovité napětí 3 kV musí spolehlivě pracovat na nejvyšším přípustném napětí v troleji 3 600V a nejnižším 2 000 V.

Na odporu trakčního vedení je závislá velikost úbytků napětí v troleji. Dalším faktory, které ovlivňují velkost úbytku napětí, je počet vozidel v napájeném úseku a velikosti odebíraného proudu trakčních vozidel. Trakční měnírny jsou stavěny z důvodu ekonomického v co největších vzdáleností, ale musí být voleny tak, aby vyhovovaly požadavkům na úbytky napětí. S rostoucí vzdáleností roste i odpor vedení a počet vozidel v napájeném úseku. Z těchto důvodů se pro napájení hlavních tratí volí napájecí soustava 3 kV, aby proudy odebírané trakčními vozidly byly co nejmenší. U vozidel městských drah s kratšími tratěmi a menšími výkony jsou volena z bezpečnostních důvodů napětí nižší (600 V a 750 V). [5]

2.4.2. Střídavé trakční proudové soustavy průmyslového kmitočtu

Střídavé trakční proudové soustavy pracují s frekvencí elektrizační soustavy 50 Hz (v některých zemích pracují s frekvencí 60 Hz). Napájecí stanice jsou nazývány trakční transformovny, protože jsou v podstatě tvořeny transformátorem.

Jmenovitá napětí jednofázových trakčních proudových soustav průmyslového kmitočtu 50 Hz jsou:

- 15; 20; 25; 50 kV – pro hlavní železniční tratě
- 6; 10 kV – pro průmyslové tratě
- 0,4 kV – pro hlubinné doly

Nejvyšší přípustné napětí v trakčním vedení je 27,5 kV u napěťové soustavy 25 kV a nejnižší je 19 kV, přičemž krátkodobě je povolen pokles na 17,5 kV.

Lokomotivy a motorové vozy mohou být napájeny trakčním napětím 25 kV, protože jsou vybaveny lokomotivním transformátorem a usměrňovačem. Tímto způsobem jsou napájeny stejnosměrné trakční motory. Díky těmto opatřením jsou vozidla složitější a tím i dražší, ale díky těmto opatřením jsou proudy odebírané z troleje menší. Toto opatření nám umožňuje použití lehčích trakčních vedení i větší vzdálenosti pro napájecí trakční transformátorovny. U soustavy 25 kV se jedná o vzdálenosti 40 – 50 km (u ČD je průměrná vzdálenost 42 km). [5]

2.4.3. Napájecí trakční soustavy využívané v ČR

V hromadné pouliční dopravě jsou v ČR využívány stejnosměrné napájecí soustavy 600 V, toto napájecí napětí je využíváno tramvajemi a trolejbusy. Napájecí napětí 750 V využívá Metro v Praze.

Specifikem železniční sítě v České republice je existence více napájecích trakčních systémů, přičemž za hlavní lze považovat stejnosměrný 3 kV a druhým je střídavý 25 kV/50 Hz. Železniční síť České republiky je elektrizována z 30 %. V zemích našich sousedů Německa a Rakouska je používán systém napájení 15 kV/16 2/3 Hz. [15]

České dráhy jsou elektrizovány následujícími proudovými soustavami:

- stejnosměrná 3 kV,
- střídavá 25 kV, 50 Hz,
  okrajově se používá:
- stejnosměrná 1,5 kV (Tábor - Bechyně první elektrifikovaná trať na území dnešní ČR),
- střídavá 15 kV, 16 2/3 Hz (Znojmo – Šatov – Retz, jedna z posledních elektrifikovaných tratí (elektrifikováno 2008-2009)

Mapa elektrifikace českých drah je uvedena v *příloze B*.

2.5. Zpětná vedení

Zpětná vedení, která se používají u tramvajových tratí, musí splňovat požadavky, která jsou na ně kladena. Vodivé spojení kolejnic určené pro zpětné vedení proudu musí být spojeny podélnou vodivou spojkou tak, aby odpor jedné kolejnice s jejím jedním stykem nebyl po jeho zhotovení nebo opravě větší než 110 % odporu kolejnice bez styku. Podélné spojky musí být měděné, na nových tratích se používají z ohebných měděných drátů (minimální průřez 50 mm^2), tyto spojky musí být ke kolejnicím přivařeny.

Oba kolejnicové pásy musí být vodivě navzájem spojeny (příčné spojky), a to alespoň za každým desátým stykem kolejnice a před kolejovým křížením nebo výhybkami. U svařovaných kolejnic stačí příčné spojky za každým dvacátým svarem. Vodivé spojky kolejnicových pásů musí být zhotoveny tak, aby vodivost odpovídala vodivosti měděného vodiče průřezu 100 mm^2. Stejné propojení musí být mezi souběžnými kolejemi. V místě, kde se připojují zpětné kabely ke kolejím, musí být vodivost příčného propojení všech kolejnic dvojnásobná. [13]

Stejnosměrné proudové systémy elektrizovaných železničních tratí, které využívají kolejnic jako zpětného vodiče, jsou nejvýznamnějším zdrojem bludných proudů, přičemž přibližně 5 – 60 % celkového zpětného proudu prochází zemí. Pro střídavý i stejnosměrný bludný proud obecně platí, že úložná zařízení zhotovená z železobetonu nelze považovat za izolační materiál. [14]

2.6. Zemní proudové pole

2.6.1. Stacionární proudové pole

Rozložení stacionárního proudového pole je charakterizováno rovnicí kontinuity.

2.6.2. Rovnice kontinuity

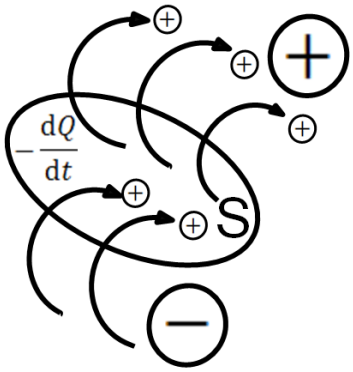
Touto rovnicí je stanoveno, že součet proudů, které vtékají a vytékají uzavřenou plochou kolem určitého objemu, se projeví jako časová změna náboje obsaženého v tomto objemu.

Podobně jako Maxwellovy rovnice, platí tato ve všech bodech prostoru, kde $\boldsymbol{J}$ je spojitě diferencovatelnou funkcí souřadnic (2.1) a ρ spojitě diferencovatelnou funkcí souřadnic a času (2.2).

$$\oiint_S \bar{J}\,\overline{\mathrm{d}S} = \frac{-\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}t} \qquad (2.1)$$

$$\mathrm{div}J = -\frac{\partial\rho}{\partial t} \qquad (2.2)$$

$$\mathrm{div}J + \frac{\partial\rho}{\partial t} = 0 \qquad (2.3)$$



Obrázek 2.1 - *Znázornění plochy pro rovnici kontinuity* [2]

Ve stacionárním proudovém poli lze definovat div $\boldsymbol{J} = 0$, protože stejný náboj v libovolném časovém okamžiku vteče i vyteče každou uzavřenou plochou.

$$\oiint_S \bar{J}\,\overline{\mathrm{d}S} = 0 \qquad (2.4)$$

Rovnici kontinuity je možné ve stacionárním proudovém poli definovat v podobě prvního Kirchhofova zákona.

$$\oiint_S J\,\mathrm{d}s = 0 = J_1S_1 + J_2S_2 + J_3S_3 + \ldots J_nS_n = I_1 + I_2 + I_3 + \ldots I_n = \sum I = 0 \qquad (2.5)$$

2.6.3. Ekvipotenciální plocha

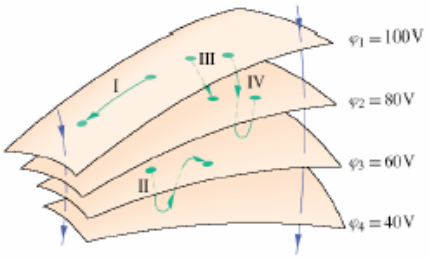
Ekvipotenciální plocha je taková, na které má potenciál stejnou hodnotu, tato plocha je nazývána ekvipotencionální plochou.

Jestliže se přemístí náboj po libovolné dráze mezi dvěma body téže ekvipotencionální plochy, nevykoná elektrické pole žádnou práci. Toto plyne již ze vztahu (2.6), který bude uveden pro elektrické napětí.

$$U = \varphi_i - \varphi_f = -\frac{W}{Q} \tag{2.6}$$

Jestliže $\varphi_i = \varphi_f$ musí být W=0.

Z rovnice je zřejmé, že při posunutí nabité částice po ekvipotencionální ploše není konána žádná práce elektrickými silami. Z toho plyne jediný možný závěr, že vektor E musí být v každém bodě ekvipotencionální plochy kolmý.



Obrázek 2.2 - *Části čtyř ekvipotenciálních ploch* [3]

Na obrázku 2.2 je znázorněn svazek ekvipotencionálních ploch v elektrostatickém poli. Při přemístění nabité částí z počátečního bodu v případě trajektorie I nebo II je vykonána práce silou tohoto pole nulová, protože jak je vidět na obrázku každá z nich začíná a končí na téže ekvipotencionální ploše. Jinak je tomu při přesunu nabitých částic z počátečního bodu do koncového bodu podél trajektorie III a IV, kde práce vykonaná při přesunu nabité částice je nenulová a v obou případech je stejně velká. Stejně velká je, protože potenciál má v počátečních bodech obou trajektorií stejnou hodnotu a také v koncových bodech mají stejnou hodnotu.

V elektrickém poli bodového náboje stejně jako v poli náboje rozloženého středově symetricky jsou ekvipotencionálními plochami soustředné kulové plochy. Ekvipotencionální plochy v homogenním poli tvoří svazek vzájemně rovnoběžných rovin kolmých k siločarám. Ekvipotencionální plochy jsou vždy kolmé k siločarám, a tedy také k elektrické intenzitě **E** (protože její směr je dán tečnou k elektrickým siločárám). Kdyby totiž vektor **E** nebyl kolmý k příslušné ekvipotencionální ploše, měla by jeho složka ve směru tečeném k této ploše nenulovou hodnotu. Tato složka by konala práci nenabité části při pohybu po ekvipotencionální ploše.[3]

2.6.4. Přirozená zemní proudová pole

Elektrické pole v Zemi jsou výsledkem skládání regionálních elektrických polí. Tyto pole zabírají celý povrch Země či jeho podstatné části. Lokální elektrické pole se rozprostírají na poměrně malém úseku zemského povrchu. Důsledkem těchto regionálních elektrických polí jsou elektrické proudy v Zemi.

Z těchto důvodů se tedy v půdě setkáváme s přirozenými proudy, tyto nazýváme zemskými nebo také telurickými proudy. Zemské proudy vznikají samovolně elektrochemickou aktivitou hornin, jedná se (např. ložiska kovových rud, grafitu, pyritu, kamenného uhlí). V podstatě se jedná o galvanické články, které vznikají oxidací ložisek kovových rud. Proudy, které vznikly tímto způsobem, jsou slabé a jejich šíření zřídka překračuje několik stovek metrů. Takto vzniklé články dosahují intenzity elektrického pole 10 $mV.m^{-1}$, což představuje v půdě o měrném odporu 100 Ω.m proudovou hustotu 0,1$mA.m^{-2}$.

Indukční jevy v zemském magnetickém poli způsobují významnější proudy. Magnetické pole Země se tvarem podobá magnetickému poli homogenně zmagnetizované koule, jejíž osa svírá s osou Země 11,5°. Magnetické pole Země je v každém bodě charakterizováno velikostí a směrem totálního vektoru magnetické intenzity. Magnetické pole Země můžeme podle původu rozdělit geomagnetické pole na vnitřní a vnější. [10]

2.6.4.1. Vnitřní geomagnetické pole

Toto pole je charakterizováno pomalými změnami – sekulární variace (dlouhodobé změny magnetického pole, které jsou pravděpodobně způsobeny hydrodynamickými pohyby v zemském nitru) a jehož příčiny leží uvnitř zemského tělesa. [10]

2.6.4.2. Vnější geomagnetické pole

Vnější (proměnné) geomagnetické pole (pulsace, zálivové poruchy, bouře) jedná se o kvantitativně několik málo procent velikosti permanentního pole. Příčiny na základě, kterých vzniká toto geomagnetické pole, jsou vně zemského tělesa (elektrické proudy ve vysokých vrstvách atmosféry). [10]

2.6.5. Umělá zemní proudová pole

Umělá zemní proudová pole a jejich vznik je úzce svázán se vznikem bludných proudů. Bludnými proudy nazýváme proudy, které se dostanou do půdy vlivem nedostatečně izolovaného vodiče od země nebo ze zařízení, které zem užívá jako zpětný vodič. Tyto proudy vytvářejí zemní proudová pole, která jsou z hlediska vzniku elektrochemické koroze úložných zařízení nejnebezpečnější. Stejnosměrné proudy tečou cestou nejmenšího odporu a podle vodivosti zeminy se rozšiřují do velkých vzdáleností (řádově stovek metrů až kilometrů) od vedení, kterým by měli téci. Z toho plyne, že čím je menší vodivost půdy, tím větší teritorium zasahují. Naproti tomu při dobré vodivosti půdy je jejich rozptyl menší. Název bludné proudy vznikl proto, že jejich tok není možné stanovit přesně. U zařízení střídavého proudu je poněkud odlišná situace. Tady existuje elektromagnetická vazba mezi vrchním vedením (nadzemním) a proudy

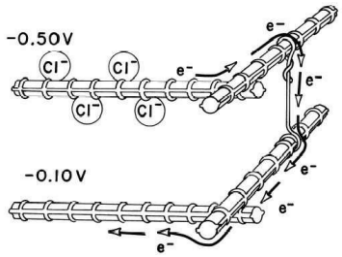
tekoucími zemí. Proud v zemi přibližně kopíruje trasu nadzemního vedení. I pro tyto proudy je v literatuře užíván termín střídavé bludné proudy. [10]

2.7. Koroze ocelové výztuže v železobetonu

K napadení výztuže korozí může dojít z více důvodů - změnou některých vlastností betonu (fyzikálně-chemických - zvýšením obsahu chloridů nebo snížením pH v pórovém roztoku betonu), nebo působením bludných proudů.

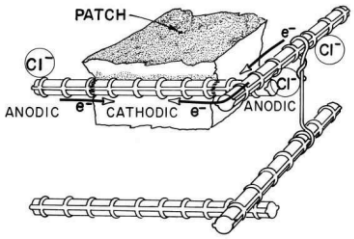
Čerstvý beton (výchozí stav), v němž vysoké pH pórového roztoku (12,5 - 13,5) a minimální obsah chloridů (maximální doporučená koncentrace chloridů v cementu 0,1-0,2 % hm.). Toto prostředí umožňuje vznik stabilní pasivní vrstvy na bázi oxidů na povrchu výztuže. Korozní rychlost ocelové výztuže v tomto prostředí omezena na hodnotu nižší než 0,1 μm/rok. Později do betonu z okolního prostředí pronikají chloridy a oxid uhličitý. Difúze CO_2 do betonu způsobuje tzv. karbonataci betonu. Při karbonizaci betonu poklesne koncentrace hydroxidů $CaOH^2$, NaOH a KOH jejich reakcí s CO_2 na uhličitany. Tyto změny mají za následek pokles pH na hodnoty v rozmezí 8-10. V těchto podmínkách již nedochází k pasivaci povrchu výztuže a tato začíná korodovat. Se zvyšující dobou působení vlivů se rychlost karbonatace snižuje. Tloušťka zkarbonatované vrstvy je po 25 letech přibližně 20 mm a dál již téměř nenarůstá. Dostatečná tloušťka krycí betonové vrstvy je podmínkou. Další podmínkou je minimální výskyt trhlin, čímž je zamezeno přísunu kyslíku krycí vrstvou do místa korozního děje

Pronikání chloridových iontů je mnohem závažnější než difúze CO_2. Původce těchto chloridových iontů jsou především soli používané v zimních měsících na údržbu silnic. Nejohroženější části jsou především horní výztuže nosných konstrukcí, kde se chloridy dostávají především v důsledku porušené izolace. Mezi další patří spodní části mostních pilířů a opěrných zdí u silnic, kdy tyto jsou ostřikovány směsí sněhu, vody a soli od projíždějících vozidel. V souvislosti s chloridy je nutné si uvědomit souvislost, že chloridy prostupují krycí vrstvou betonu až desetkrát rychleji, než CO_2.



Obrázek 2.3 - *Rozdílné koncentrace chloridů jsou příčinou vzniku makročlánku* [21]

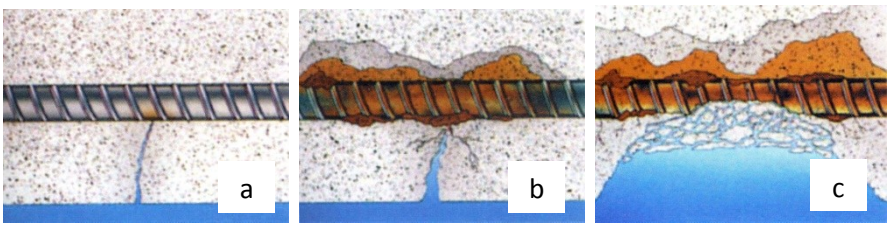
Vznik makročlánku je znázorněn na obrázku, ze kterého je patrné, že ke vzniku došlo v důsledku různé koncentrace chloridů v betonu. Výztuž, která se nacházející v oblasti s vyšší koncentrací chloridů funguje jako tzv. „obětovaná anoda“. Tímto uspořádáním je „chráněna“ výztuž uložená v oblasti s nižší koncentrací chloridů. Makročlánek, který vznikl v důsledku různé koncentrace chloridů v betonu paradoxně i při odstranění betonu kontaminovaného chloridy a zkorodované výztuže i po nahrazení novým betonem bez chloridů a nepoškozenou výztuží zůstává makročlánkem.



Obrázek 2.4 - *Makročlánek po odstranění betonu kontamin. chloridy a zkorod. výztuže* [21]

V blízkosti rozhraní mezi novým a starým betonem vzniká, poměrně velký rozdíl potenciálů ocelové výztuže kvůli rozdílné koncentraci chloridů. Výztuž nacházející se v novém betonu zde funguje jako katoda. Výztuž bezprostředně u rozhraní je anodickou oblastí. Po uplynutí několika let je často nutné provést znovu takovouto opravu.

U napadení vlivem zvýšeného obsahu chloridů, nebo korozního napadení, je nutnou podmínkou přítomnost elektrolytu. V betonu se výskyt elektrolytu udržuje vlivem vlhkosti vzduchu nebo přímým průnikem vody. Kromě karbonatace a difúze chloridů do betonu jsou dalším zdrojem korozního ohrožení výztuže bludné proudy pocházející z železničních tratí elektrifikovaných stejnosměrnou trakční proudovou soustavou. V anodické oblasti dochází ke koroznímu napadení, kde bludné proudy vycházejí z konstrukce. Na povrchu výztuže vlivem korozního napadení vznikají produkty, jejichž objem je až čtyřnásobný vůči oceli, z níž je výztuž vyrobena. Důsledky nárůstu objemu můžeme vidět na následujícím obrázku.



Obrázek 2.5 - *Způsob vzniku trhlin způsobený v betonu korodující výztuží* [20]

Korozi výztuže (a) v betonu, která je znázorněna na obrázku 2.5 můžeme shrnout takto: v důsledku pronikání chloridů do betonu a vzniku trhlin v betonu, postupuje karbonatace výztuže (b). Při použití výztuže s již zkorodovaným povrchem, vzroste během relativně krátké doby objem korozních produktů výztuže do takové míry, že dojde k překročení meze pevnosti betonu v tahu a krycí vrstva betonu začne praskat. Tímto způsobem dochází k postupnému obnažení svrchní vrstvy výztuže (c), která může korodovat potom mnohem rychleji. K další vrstvě výztuže pronikají voda, chloridy a oxid uhličitý díky narušení betonu mnohem rychleji.

2.8. Možnosti omezení vzniku bludných proudů

Největším zdrojem bludných proudů je kolejová doprava se stejnosměrným trakčním systémem, u kterých je možné provést několik opatření, které sníží únik proudu z elektrizovaných drah.

a) Zvýšení přechodového odporu mezi kolejemi a zemí

Měrná svodová vodivost *G* pro jednokolejnou trať podle normy [27]
pro širou trať 0,5 $S.km^{-1}$
pro uzavřené systémy hromadné dopravy 2,5 $S.km^{-1}$

Hodnoty lze dosáhnout za předpokladu:

- Kolejové lóže je čisté
- Čištění prostoru mezi kolejnicemi a kolejovým ložem
- Účinné odvodňování

b) Zvýšení elektrické vodivosti koleji

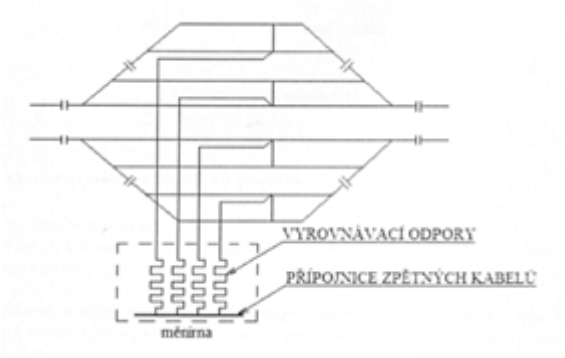
Zpětné vedení stejnosměrných drah má kolejové vedení podstatně větší vodivost, než trolejové. Využívána je vodivost všech kolejnicových pásů použitím podélných a příčných kolejnicových spojek. Podélný odpor zpětného kolejnicového vedení musí být co nejnižší. Pro zajištění elektrické vodivosti kolejí, jsou prováděny opatření, kterými jsou např. podélné svařování kolejnic nebo opatření pomocí elektrovodných spojek. Další možností je použití vyrovnávací spojky mezi kolejnicovými pásy jedné koleje se sousedními kolejemi. Toto opatření je možné realizovat, jen pokud se celkový podélný odpor kolejnic nezvýší více než o 5%.[3]

c) Zajištění rovnoměrného potenciálu kolejiště proti zemi

Různá opatření, která jsou někdy těžce proveditelná, slouží k zajištění rovnoměrného potenciálu proti zemi.

a. Zvyšováním činného odporu

U městských drah nebo v rozsáhlých železničních stanicích, se používá k vyrovnávání úbytků napětí ve zpětných kabelech umělé zvyšování činného odporu u kratších kabelů přídavnými odporníky v napájecích stanicích.



Obrázek 2.6 - *kolejová síť ve stanici*

U kratšího napáječe (bližšího) je odpor R_1 a u delšího R_2, $R_1<R_2$ za předpokladu, že je použit stejný průřez vedení. Předpokládáme, že proud obou napáječů je přibližně stejný, potom přídavným odporem ΔR chceme docílit, aby úbytek napětí byl stejný pro oba napáječe stejný.

Pro výpočet platí následující vztah 2.7:

$$R_2 I_2 = (R_1 + \Delta R) I_1 \tag{2.7}$$

b. Využití sacího ústrojí

Sací soustrojí, pracují na principu vyrovnávaní napěťových úbytků v delších zpětných kabelech v obou napáječích. Při stejném úbytku napětí, platí následující vztah 2.8 [3]:

$$R_2 I_2 - \Delta U = R_1 I_1 \tag{2.8}$$

3. OCHRANY ÚLOŽNÝCH ZAŘÍZENÍ PŘED ELEKTROCHEMICKOU KOROZÍ*Protikorozní ochrana*

Protikorozní ochrana je spjata s rozvojem chemie, hutnictví a dalších odvětví, které nedílnou měrou přispěly k rozšíření a poznání vlastností kovů a korozních procesů. Z toho vyplynuly i způsoby jakým lze účinně korozi potlačovat.

Základní pojmy:

Koroze – elektrochemická reakce kovu s jeho prostředím, mající za následek jeho progresivní degradaci nebo zničení (způsobená bludnými proudy).

Svodový proud – proud, který v normálním provozním stavu teče do země nebo do cizích vodivých částí v obvodu.

Bludný proud – část zpětného proudu DC trakční soustavy, která alespoň v části své dráhy protéká jinými cestami než zpětným obvodem. [20]

Bludné proudy, které pocházejí ze stejnosměrných proudových soustav, můžou na kovových konstrukcích uložených v půdě nebo ve vodě, způsobit vážné poškození materiálu korozí, která je způsobena bludným proudem. Touto korozí mohou být ohroženy zejména liniové konstrukce dlouhodobě uložené v zemi, jedná se např. o potrubí a kabely s kovovým pláštěm. Jelikož se poškození korozí může projevit již po krátké době působení bludného proudu, je nezbytné přijmout opatření k ochraně v raném stádiu a rovněž účinek těchto opatření pravidelně kontrolovat. [28]

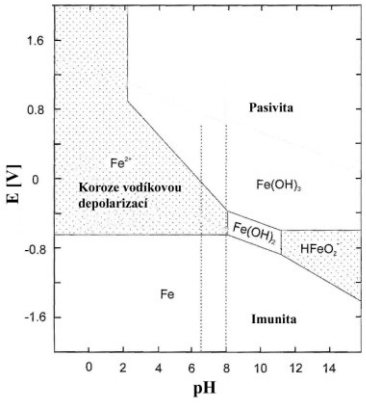
3.2. Koroze

Pojmem koroze se rozumí nežádoucí interakce materiálu a prostředí vedoucí ke zhoršení až k úplné ztrátě původních vlastností. V užším smyslu se vztahuje koroze na kovy, ale koroze probíhá i u jiných materiálů např. koroze betonu. U koroze se zjišťují korozní úbytky ve formě hmotnostních změn vztažných na exponovanou plochu a období. Význam je jednoznačný především u plošného rovnoměrného napadení, kde povrch kovu i prostředí homogenní. V praxi se ovšem častěji setkáváme s korozí nerovnoměrnou a k posouzení se využívají jiná kritéria především hloubka a četnost důlků, nebo změny fyzikálních vlastností a další.

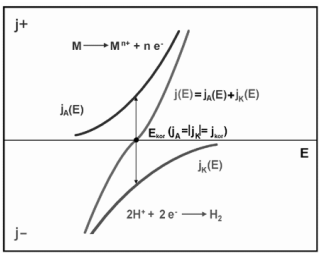
3.3. Korozní mechanizmy při korozi úložných zařízení

K základní orientaci o korozi železa nebo mědi, ale i jiných čistých kovů v čisté vodě slouží diagramy potenciálu – pH, z nichž lze odečíst podmínky termodynamické stability (imunity), pasivity a koroze kovů na obr č. 3.1. Elektrodové potenciály se vztahují ke standardní vodíkové elektrodě. Z diagramu nelze odvozovat žádné úvahy o rychlosti koroze. Kinetiku koroze je možno spekulativně modelovat, měření jsou však nezbytná. Koroze ve vodivých roztocích elektrolytů jsou v principu způsobena dvěma pochody. Přechodem kovu do iontové formy (oxidační, anodický děj) a přestupem uvolněných elektronů na redukovatelnou látku v roztoku, depolarizátor (redukční, katodový děj). V neutrálních vodách je nejčastějším depolarizátorem

rozpuštěný kyslík, v kyselých hydratovaný proton. Jsouli v roztoku přítomné látky schopné dávat s kovem rozpustné komplexy anodický děj se urychluje. [11]



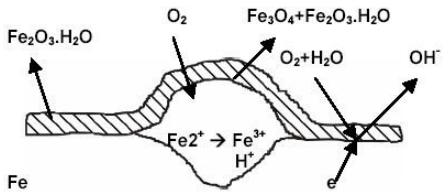
Obrázek 3.1 - *Zjednodušený diagram Potenciál (U) – pH pro železo ve vodě, s oblastmi možné koroze (K) a termodynamické stability – imunity (I) a pasivity (P)* [22]



Průběh katodické a anodické dílčí reakce se dá znázornit na diagramu proudová hustota/potenciál obrázek 3.2. Dílčí proudové hustoty j+ a j- nejsou ovšem přístupné běžnému měření. Když j+ = *j-* ustaví se za konstantních podmínek (teplota, velikost povrchu, koncentrace) jistý smíšený potenciál (Um), v případě koroze je totožný s potenciálem korozním (Uk), který je inversabilní.

Obrázek 3.2 – *Průběh katodické a anodické dílčí reakce* [22]

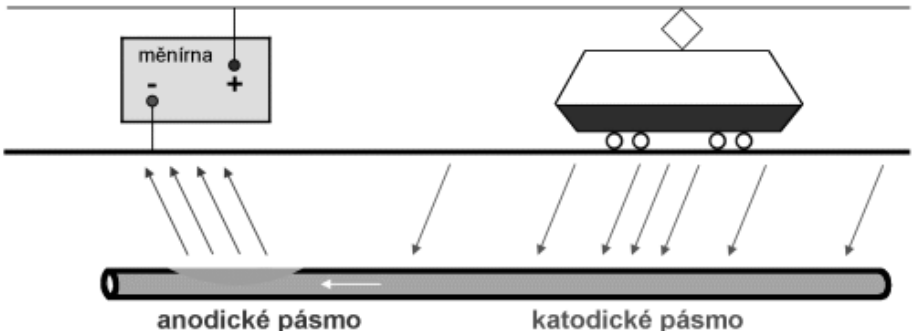
U heterogenních povrchů jsou předpoklady ke vzniku lokálních anod, katod a důlkové koroze. V důlcích klesá pH, zvětšuje se koncentrace stimulátorů a zmenšuje koncentrace inhibitorů koroze jak je patrno z obrázku 3.3.



Obrázek 3.3 - *Mechanismus koroze* [8]

3.4. Koroze bludnými proudy

Koroze bludnými proudy, jedná se o elektrochemickou korozi v okolí kolejí se stejnosměrným proudem, kterého část prochází zemí. Proudy, které procházejí jinou cestou, než určeným okruhem nazýváme bludnými proudy. Mezi primární zdroje bludných proudů patří zejména elektrizované dráhy znázorněno na obrázku 3.4. Bludné proudy vznikají při porušené izolaci zpětných kabelů, katodicky chráněných objektů proti objektům nechráněným.



Obrázek 3.4 - *znázorňuje vstup bludného proudu přes kolej a půdní prostředí na potrubí (katodické pásmo) a vystupující proudy na vzdáleném místě z úložného zařízení do měnírny* [11]

Napadení kovu je hloubkové, bez rzi. Rychlost koroze závisí na velikosti bludného proudu. K největšímu poškození ocelových konstrukcí případně litinových zařízení stejnosměrnými bludnými proudy dochází na výstupu proudu z konstrukce v tzv. anodickém pásmu. Jestliže jsou úložná zařízení z olova nebo z hliníků, dochází k poškození při výstupu stejnosměrných bludných proudů tak i při vstupu v tzv. katodickém pásmu (z důvodu zvýšené alkality). Elektrická měření nám poskytují důkaz o výskytu bludných proudů. Dalším z ukazatelů na bludné proudy v blízkosti úložných zařízení je větší obsah koncentrace chloridu a síranů v půdě, který v anodické oblasti dosahuje 100 až 1000 krát větších hodnot. Katodická místa na potrubích, se pokrývají uhličitanem vápenným, vzhledem k jejich alkalitě. Účinky stejnosměrného proudu na úložná zařízení jsou mnohem větší než střídavých proudů. U železa jde cca 0,5% odpovídajícího stejnosměrného proudu. Nepříznivě se projevují střídavé proudy při větších proudových hustotách.

Pásma při korozi bludnými proudy:

- Katodické pásmo – zde proud vstupuje do potrubí, nehrozí zde korozní napadení
- Střední pásmo – proud pouze prochází, bez koroze
- Anodické pásmo – zde proud vystupuje a dochází ke koroznímu narušení potrubí

Koroze úložných zařízení, nastává v místech, kde bludný proud přechází z úložného zařízení do země a vrací se ke zdroji. Faradayovým zákonem je dána rychlost přecházení kovových iontů v anodických místech

Faradayový zákon:

$$M = A \cdot Q = E\,e \cdot I \cdot \tau \text{ (kg)} \tag{3.1}$$

M …množství vyloučeného kovu (kg),
Q...celkový náboj iontu (C),
Ee …elektrochemický ekvivalent kovu ($kg.A^{-1}.h^{-1}$),
I …průměrný bludný proud (A),
τ … doba průchodu proudu (h).

Elektrochemické ekvivalenty vybraných kovů jsou uvedeny v následující tabulce č.3.1

Tabulka 3.1 *Elektrochemické ekvivalenty vybraných kovů*

Kov	Sn	Al	Cu	Pb	Fe
A ($kg \cdot A^{-1} \cdot s^{-1}$) 10^{-9}	338,6	93,3	332,3	1073,3	289,3

Ztráta kovu, která je způsobena protékáním stejnosměrného proudu o velkosti 1 A po dobu jednoho roku způsobí elektrochemickou korozí úbytek materiálu podle jednotlivých elektrochemických ekvivalentů. Níže jsou provedeny výpočty pro vybrané kovy:

hliník $M_{Al} = 0{,}933\ 10^{-7}\ 1\ 60\ 60\ 24\ 365 = 2{,}93$ kg,
železo $MFe = 2{,}893\ 10^{-7}\ 1\ 60\ 60\ 24\ 365 = 9{,}12$ kg,
olovo $MPb = 10{,}733\ 10^{-7}\ 1\ 60\ 60\ 24\ 365 = 33{,}85$ kg,
měď $M_{Cu} = 3{,}323\ 10^{-7}\ 1\ 60\ 60\ 24\ 365 = 10{,}48$ kg,

Výše uvedený vztah 3.1, ze kterého byly vypočtené úbytky materiálů, jsou platné pro stejnosměrné bludné proudy. Korozní ztráty pro střídavé bludné proudy jsou podstatně nižší.

Při hustotě proudu $J = 1$ A.m^{-2} je korozní úbytek $k = 1$ g.m^{-2}.h^{-1} u stejnosměrného proudu. Střídavý proud o frekvenci 0,5 Hz má třicetkrát menší korozní rychlost a pro frekvenci 50 Hz je to pouze 1 % korozní rychlosti stejnosměrného proudu. Kritérium maximální bezpečné hustoty střídavého proudu je vyjádřeno pro korozi oceli.

Vztah pro určení maximální bezpečné hustoty proudu:

$$j \langle\ a \cdot f^{0,56} \qquad (3.2.)$$

kde j - hustota proudu (mA.dm^{-2}),
f - kmitočet proudu (Hz),
a - konstanta závislá na přípustné velikosti zeslabení oceli účinkem střídavého proudu

Zeslabení oceli (úbytek) 0,086 mm.rok^{-1} a = 46,7. Střídavý proud frekvence 50 Hz není korozně nebezpečný, protože není překročena hustota proudu 400 mA.dm^{-2}.

Koroze bludnými proudy je řádově rychlejší než prostá půdní koroze.

3.5. Základy a možnosti protikorozní ochrany

Minimalizací ekonomických a ekologických ztrát vyvolaných korozí je hlavním cílem protikorozní ochrany. Protikorozní ochrana je samozřejmě i prostředkem pro zvýšení životnosti a ekonomičnosti úložných zařízení. Aplikace kvalitní izolace v kombinaci s katodickou ochranou je základem protikorozní ochrany. Tato kombinace je používaná k co možná nejdokonalejšímu oddělení úložných zařízení od okolního prostředí a k elektrochemické ochraně míst s poškozenou izolací. Tyto nepříznivé projevy je možné eliminovat i dalšími dílčími opatřeními. [11]

Mezi základní možnosti protikorozní ochrany úložných zařízení patří:

- Použití korozně odolných materiálů
- Ochranné povlaky
- Úprava korozního prostředí
- Elektrochemická ochrana

3.5.1. Pasivní ochrana

Úložná zařízení uložená v zemi, využívají jako základní pasivní ochranu před korozí kovových částí povlak, který tvoří bariéru mezi chráněným povrchem kovu a agresivním prostředím. Tento povlak nazýváme izolací. Jelikož tento způsob protikorozní ochrany nezasahuje jiným způsobem do probíhajících korozních pochodů, označujeme jej jako pasivní.

Mezi způsoby pasivní ochrany patří:

- Ochrana izolací
- Speciální způsoby uložení
- Úprava korozního prostředí

Spolehlivost a účinnost pasivní korozní ochrany je závislá především na těchto ukazatelích. Jedná se především o kvalitu izolace a šetrný zásyp. Kvalita izolačních materiálů se zkouší laboratorně a jsou využívány k tomu normované zkušební metody. Na stavbách se postupuje podle příslušných ČSN a TP, těmito postupy se hodnotí vzhled izolace, přilnavost k úložným zařízením, tloušťka izolace a bezporéznost. V případě zjištění vady izolace musí být všechny odstraněny před provedením zásypu. [11]

3.5.1.1. Ochrana izolací

Ochrana izolací úložných zařízení se provádí povlakem, který tvoří bariéru mezi chráněným povrchem kovu a agresivním prostředím. [11]

3.5.1.2. Speciální způsoby uložení

U této pasivní ochrany jde o stavební úpravy pomocí, kterých jsou uložena kovová úložná zařízení v kanálech, kolektorech, ve zvláštních ložích (např. z písku), případně o chemickou úpravu prostředí. [11]

3.5.2. Aktivní ochrana

Aktivní ochranou se rozumí opatření, která omezí účinky bludných proudů na úložná zařízení. Katodická ochrana je nejčastěji využívanou aktivní ochranou v zemi uložených zařízení. [11]

3.5.2.1. Elektrická drenáž

Jedná se o odvádění bludných proudů z ohrožené konstrukce ke zdroji proudu pomocí strojeného spoje. [28]

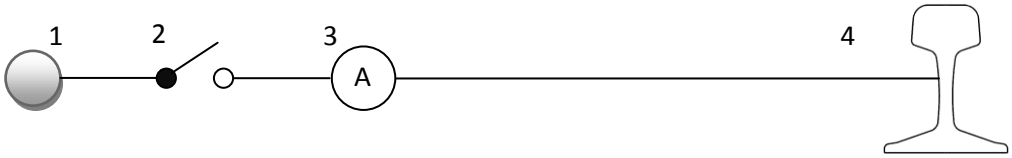
Drenážní zařízení musí být ke kolejím připojeno prostřednictvím oddělovacího prvku. Nejčastěji se používá drenážní tlumivka. K odpojení drenážního obvodu musí dojít, jestliže je překročena limitní hodnota střídavé složky 50 Hz. [8]

3.5.2.1.1. Přímá drenáž

Zařízení, které zajišťuje elektrickou drenáž pomocí přímého spojení mezi napadenou konstrukcí a zdrojem bludných proudů, je realizováno tak, že do spoje může být vložen sériový rezistor k omezení proudu. U přímé drenáže může protékat proud v obou směrech, z tohoto důvodu může být přímá drenáž použita pouze tehdy, když potenciál v místě propojení spoje se zdrojem DC proudu je vždy zápornější, než potenciál interferencí ohrožené konstrukce tzn., že směr proudu, který protéká drenáží, se nikdy neobrátí.

Jelikož koleje a interferencí ohrožené konstrukce mohou dočasně měnit polaritu, nesmějí být přímé drenáže instalovany na DC trakčních soustavách.

Vložením rezistoru do propojení mohou být omezeny změny potenciálu konstrukce k elektrolytu a tok proudu.[28]



1 – potrubí, 2 – vypínač, 3 – ampérmetr, 4 - kolej

Obrázek 3.4 - *Blokové schéma přímé drenáže (kniha ochrana proti bludným proudům)* [8]

3.5.2.1.2. Řízená drenáž

Jedná se o zařízení, které zajišťuje elektrickou drenáž pomocí spoje mezi ohroženou konstrukcí a zdrojem bludného proudu. Zařízení zahrnuje samostatný zdroj DC proudu ke zvýšení přenosu proudu.

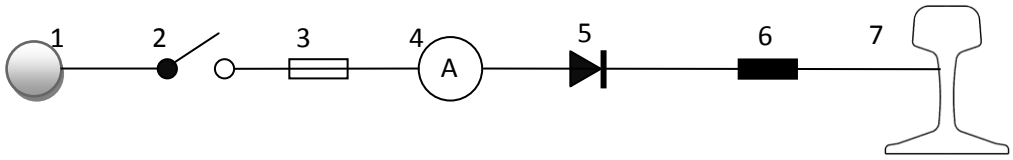
Řízená drenáž (rovněž známá jako nucená elektrická drenáž) je obvykle používána tehdy, když přímá nebo polarizovaná drenáž odvádí nedostatečné všechny bludné proudy z interferencí ohrožené konstrukce, protože konstrukce se zdrojem interference nemá dostatečně záporný potenciál. Tato metoda je používána tam, kde bludné proudy pocházejí z DC trakční soustavy. Řízená drenáž má mezi interferencí ohroženou konstrukcí a zdrojem interference vložen usměrňovač a transformátor.

Drenážní proud a potenciál konstrukce se budou v důsledku velkých a častých změn mezi pojížděnými kolejemi a interferencí ohroženou konstrukcí značně měnit. V takových situacích může být potenciál interferencí ohrožené konstrukce udržován zápornější než předvolená hodnota pomocí automaticky ovládané řízené drenáže. Při použití této metody musí být proveden pečlivý výběr vhodného místa pro stálou snímací elektrodu. [76]

3.5.2.1.3. Polarizovaná drenáž

Zařízení, které zajišťuje elektrickou drenáž pomocí jednosměrného proudového spoje mezi ohroženou konstrukcí a zdrojem bludných proudů. Do spoje je vloženo zařízení jako např. dioda, která zajistí, aby proud protékal pouze v jednom směru.

V polarizované drenáži (rovněž známé jako jednosměrná drenáž) může proud protékat pouze v jednom směru. Polarizované drenáže mohou být proto použity tam, kde potenciál interferencí ohrožené konstrukce není trvale kladnější než potenciál zdroje DC proudu, např. v DC trakčních soustavách. V případě polarizované drenáže může být k omezení toku proudu nezbytné vložit do spoje rezistor a pojistku. Drenážní proud může být také automaticky řízen pomocí trvale instalované snímací elektrody. Tato metoda nezajišťuje na interferencí ohrožené konstrukci katodickou ochranu. [76]



1 – potrubí, 2 – vypínač, 3 – pojistka, 4 - ampérmetr, 5 – výkonová polovodičová dioda, 6 – odpor, 7 - kolej

Obrázek 3.4 - *Blokové schéma elektrické polarizované drenáže (kniha ochrana proti bludným interferenčním proudům)* [8]

Princip elektrické polarizované drenáže spočívá v tom, že při průjezdu elektrické lokomotivy se celkový proud dělí na dvě složky proud tekoucí potrubím a proud tekoucí kolejemi. Pro elektrickou polarizovanou drenáž platí následující vztah 3.3:

$$I_c = I_k + I_p \tag{3.3}$$

I_c – celkový proud, I_k – proud tekoucí kolejemi, I_p – proud tekoucí potrubím

Proud protékající potrubím se přes drenáž vrací zpět ke zdroji. Katodicky je chráněno drenážním proudem potrubí při průjezdu lokomotivy. Po nedefinovanou dobu je však potrubí mimo působení drenážního proudu a nastává pokles potenciálu s kladným směrem pod hodnotu -0,85 V, z tohoto důvodu potrubí není katodicky chráněno. Z tohoto důvodu se někdy používá tzv. zesílená elektrická drenáž, resp. saturáž.

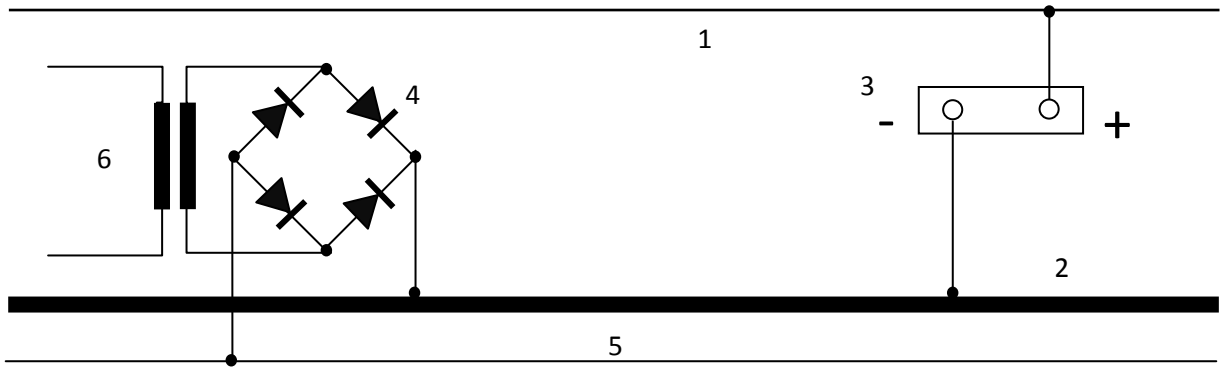
Polarizovaná drenáž je zapojena tehdy, když potenciál liniové konstrukce je kladnější než potenciál kolejí, potom proud teče drenáží od potrubí (úložných zařízení) ke kolejím. Drenáž se automaticky přeruší, jestliže se situace změní v opačnou. [8]

Okamžitý výkon drenáže je dán vztahem 3.4:

$$P = U\,I = R\,I^2 \text{ (W, V, A)} \tag{3.4}$$

3.5.2.1.4. Zesílená elektrická drenáž

Polarizovaná elektrická drenáž (saturáž) se používá tam, kde se nedosáhne v místě připojení dostatečně záporného potenciálu potrubí – půda, zde se používá zesílená elektrická drenáž. Jedná se vlastně o stanice katodické ochrany, které jsou zapojeny mezi potrubí a koleje tak, aby spojením protékal bludný proud vystupující z chráněného potrubí. Velikost celkového proudu je volen v obvodu zesílené drenáže tak, aby bylo dosaženo dostatečné ochrany potrubí.



1 – drážní napájecí vedení, 2 – kolej, 3 – měnírna,
4 – usměrňovač s diodami, 5 – potrubí, 6 - transformátor

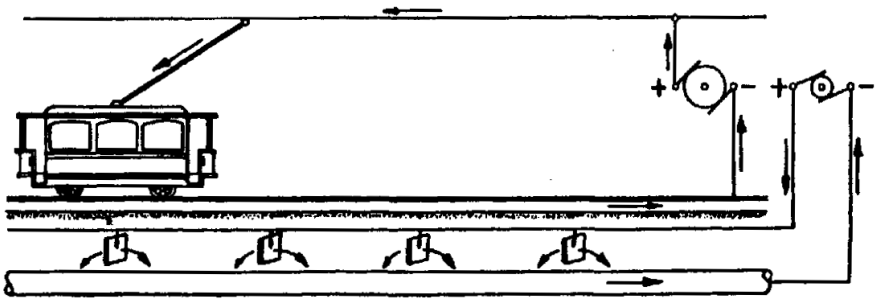
Obrázek 3.5 - *principiální schéma saturáže* [8]

Saturáž vyžaduje přípojku elektrické energie. Funkce zařízení spočívá v tom, že se zdroj proudu automaticky zapojuje v okamžiku, kdy poklesne pod určitou hodnotu intenzita bludného proudu tekoucího drenáží. Zařízení pak pracuje jako stanice katodické ochrany, kde anodou je kolej. [8]

3.5.3. Katodická ochrana

Katodická ochrana může být použita ke snížení účinků bludných proudů při nízké úrovní interference. Cílem je snížit účinky bludných proudů a ne bezpodmínečně zajistit katodickou ochranu. [28]

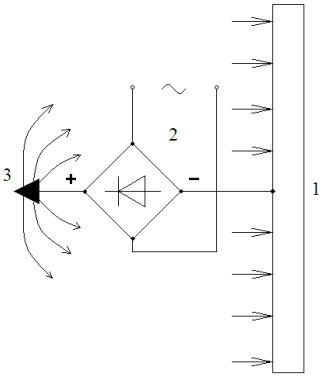
Katodická ochrana je založena na zpomalení anodické reakce při posunu potenciálu v negativním směru. Kov se stává korozně odolnějším v důsledku dosažení potenciálu, který termodynamicky odpovídá potenciálu rovnováhy mezi kovem a ionty v roztoku. Základním principem je záměrné vytvoření elektrického obvod, v němž je v korozním prostředí chráněný předmět katodou. [23]



Obrázek 3.6 - *Schéma katodické ochrany (patent Germany No 211612) od Herbert Geppert z 27. března 1908*[1]

3.5.3.1. Katodická ochrana s úložnou anodou

Katodická ochrana se provádí tak, že kabelový plášť nebo úložné zařízení připojíme na záporný pól zdroje stejnosměrného proudu a jeho kladný pól na uzemněnou kovovou hmotu, která slouží jako anoda.



Nejpoužívanější zemnič pro katodickou ochranu je z železa, ale může být proveden z libovolného kovu. Pro zemnič lze použít starého materiálu, jako jsou např. litinové roury, kusů kolejnic apod. Odpor anody vždy převažuje, proto je nutné, aby měla pokud možno malý odpor uzemnění (řádu 1 Ω). Na obrázku 3.7 je schéma zapojení katodické ochrany s úložnou anodou. Vysvětlivky k obrázku:

1 … chráněné potrubí,
2 … usměrňovač s napájecím zdrojem,
3 … uzemnění (anoda).

Obrázek 3.7 - *Schéma katodické ochrany s úložnou anodou* [8]

Katodická ochrana je u nás nejrozšířenější. Tento způsob ochrany před bludnými proudy se především používá při ochraně plynovodů, ropovodů a vodovodních řádů. Napětí, které se využívá je v rozmezí 10 až 50 V a odebírané proudy 10 až 50 A. Výkon se na stejnosměrné straně pohybuje v rozmezí 100 až 2500 W. Používání aktivních ochran, vyžadující připojení ke kolejnicím je omezeno. Hlavními negativními vlivy jsou považovány případné negativními vlivy na kolejové zabezpečovací obvody. [10], [26]

3.5.3.2. Ochrana reakční anodou

Způsob ochrany reakční (obětní) anodou využívá galvanických anod. S chráněným úložným zařízením se anody spojují izolovaným vodičem, který se ukládá v blízkosti kabelové trasy do země. Tímto způsobem je vytvořen článek, u kterého úložné zařízení přebírá funkci stálé katody a obětní elektroda funkci anody. Reakční anoda může být použita z hořčíku, hliníku nebo zinku. Nejvíce se v praxi používá anoda z hořčíku, jehož elektrochemický potenciál je -

2,35 V. V blízkosti elektrizovaných drah není vhodné tuto ochranu využívat, protože v tomto prostředí je vysoká hustota zemních proudů. Elektromotorická síla galvanického článku s reakční anodou je obvykle nízká.

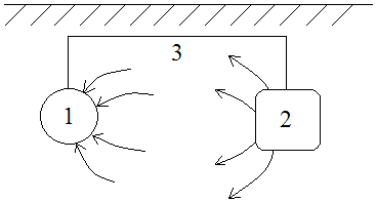


Schéma zapojení je na obrázku 3.8 ochrany reakční anodou:
1 … chráněné zařízení,
2 … obětní anoda,
3 … izolovaný vodič. [10], [20]

Obrázek 3.8 - *Schéma ochrany s obětní anodou* [8]

4. MĚŘENÍ NA VYBRANÉM OBJEKTU

4.1. Použité měřicí přístroje

4.1.1. Měřič zemních odporů PU183

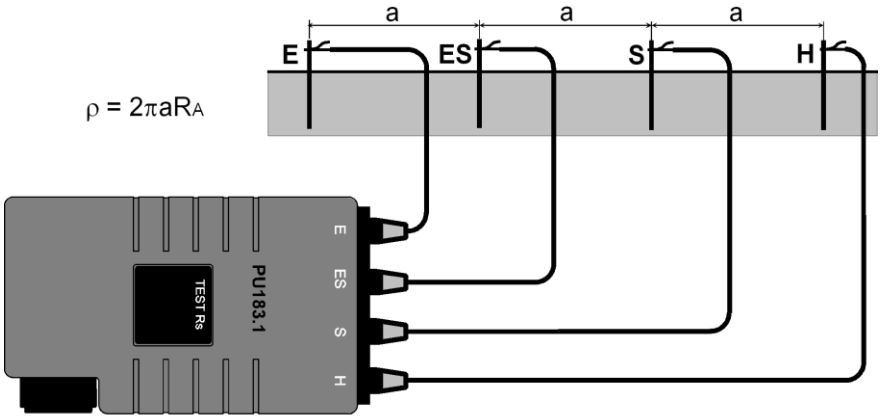
Přístroj je určen pro měření odporů zemničů, zemnicích soustav, měření rezistivity půdy a měření ohmických odporů. Mezi výhody tohoto přístroje patří ochrana vstupních a výstupních svorek, nezávislost na síťovém napájení a snadná obsluha.

Přístroj PU183.1 jsem připojil k zemničům tvořených sondami z příslušenství PD183. Měření bylo prováděno Wenerovou metodou. Po změření zemního odporu jsem vypočítal rezistivitu ze vzorce (4.1):

$$\rho = 2\pi a R \ (\Omega m,\ m,\ \Omega) \tag{4.1}$$

a – vzdálenost mezi elektrodami
R – naměřený zemní odpor

Při tomto měření může dojít k nesprávné indikaci rušivého napětí Us. Je to způsobeno velkým zemním odporem elektrody E. Lze se o tom přesvědčit tak, že po odpojení měřicího kabelu od svorky H dioda LED zhasne. V tomto případě je nutné zmenšit zemní odpor elektrody E zvlhčením jejího okolí.



Obrázek 4.1 - *měření rezistivity pomocí měřiče zemních odporů PU183* [17]

4.1.2. Klešťový ampérmetr Prova 2000

Technické parametry přístroje: Průměr čelistí: 55 mm, DC/AC 2000A, Cable f 55mm, Bus Bar 72mm(D) x 22mm(W), True RMS (2000), Average Sensing (2003), DCA One Touch Zero, Auto Range A, V, W, Continuity, Max/Min/Hold, Relative Measurement [18]

4.1.3. Přenosná referenční elektroda Cu/CuSO4

Přenosná referenční elektroda Cu/CuSO4 je určená na měření v oblasti katodové protikorozní ochrany úložných zařízení. Je malá, lehce skladovatelná a elektrolyt z ní nevytéká.

Elektroda se skládá z trubice, kde na jejím horním konci je Cu (měděná) tyč, která sahá do vnitřní části elektrody a je obklopena elektrolytem. Spodní část elektrody tvoří keramický hrot kuželovitého tvaru. Během měření se vtlačí do půdy a svou pórovitostí zabezpečuje vodivý kontakt elektrody s půdním elektrolytem.

Obrázek 4.2 – *přenosná referenční elektroda*

4.1.4. Popis měřicího zařízení

Pro praktickou část diplomové práce použil měřicí aparaturu, která dlouhodobě měřila elektrické veličiny napětí a proudů v provozních podmínkách elektrické trakce.

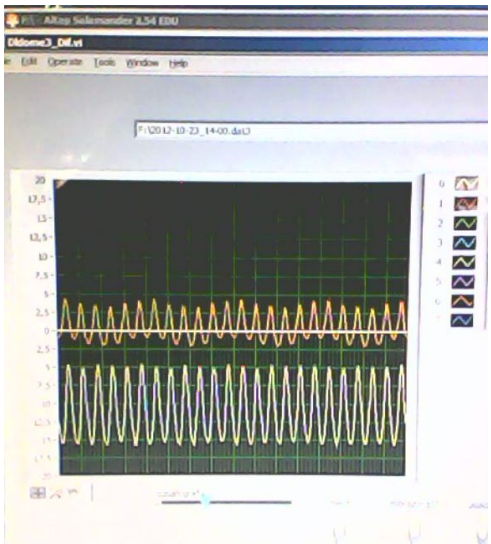
4.1.4.1. Popis měřicího hardware

Celé zařízení jednoho měřícího stanoviště se skládá z přenosného počítače, měřicí karty, vstupních převodníků, kabeláže a měřicího software, viz. obrázek 4.3.

Obrázek 4.3 – *měřicí stanoviště B a C*

Přenosný počítač slouží k průběžnému vyhodnocování el. veličin a záznamu získaných dat. Pro toto měření byl použit PC s dvoujádrovým procesorem, ve kterém byl nainstalován operační systémem MS Windows s 16-ti bitovou, 8-mi kanálovou měřicí kartou USB-6210

firmy National Instruments. Technické parametry této měřící karty jsou: šířka pásma měřicí karty je 450 kHz, maximální vzorkovací rychlost je 250 kS/s při měření na jednom kanále a vstupní rozsahy jsou od ±0,2 V do ±10 V.



Obrázek 4.4 – *virtuální nástroj pro měření sledovaných veličin*

V průběhu měření byly zaznamenávány okamžité hodnoty napětí a proudů. Napětí a proudy byly snímány vzorkovací frekvencí 10000 vzorků za sekundu. Z nasnímaných hodnot byly vytvořeny půlsekundové intervaly.

4.1.4.2. Popis měřicího software

Vývojové prostředí LabVIEW (Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench) K vyhodnocení získaných dat pomocí měřící karty bylo použito virtuálního měřicího přístroje, který použil vývojové prostředí LabVIEW. Tímto jsem realizoval všechny činnosti měřicího přístroje. Vývojové prostředí LabVIEW firmy National Instruments splňuje požadavky na kvalitní software pro efektivní ovládání virtuálního měřicího přístroje. Architektura tohoto prostředí Lab WIEW vychází z poznatků, že technik je ten, který ví co má měřit a jakým způsobem bude získaná data prezentovat.

Vývojové prostředí LabVIEW je aplikace, ve které je blokové schéma vytvářené aplikace již koncové a nepřevádí se do textové podoby. Výsledkem sestaveného programu v prostředí LabVIEW je virtuální přístroj, který má vlastnosti klasického přístroje ve virtuální podobě. [19]

4.2. Měření ve vybraném úseku

Vhodný úsek, který jsem zvolil pro provedení měření, je součásti tramvajových tratí města Ostravy, které mají celkovou délku 66,7 km. Úsek tramvajové trati, u kterého bylo provedeno měření, se nachází na jednokolejné trati mezi smyčkou Zátiší a smyčkou Vřesinská a má délku 9 030 m. Míjení tramvají, je v tomto tramvajovém úseku prováděno ve vybraných zastáv-

kách pomocí výhyben. V současné době jsou vybaveny výhybky ve výhybnách zámkem se světelnou signalizací.

Tato trať je jediná dochovaná meziměstská tramvajová trať na Ostravsku. Původně vycházela z železničního nádraží ve Svinově a byla budována jako dráha pro parostrojní železniční dopravu. První úsek byl uveden do provozu ze Svinova do Vřesiny v roce 1925. Další úsek do Dolní Lhoty byl zprovozněn v roce 1926. Poslední úsek do Kyjovic byl předán do provozu v roce 1927.

Tento úsek trati byl původně plánován o další prodloužení trati až do Hradce nad Moravicí, ze kterého však sešlo z nedostatku finančních prostředků. Plán na prodloužení byl zamítnut definitivně v padesátých letech.

Tato trať byla v roce 1943 převzata městem od Slezských zemských drah a začala se plánovat případná elektrifikace a využití pro tramvajový provoz. Elektrifikace trati proběhla postupně ve dvou etapách a od roku 1947 se již jedná o čistě tramvajovou trať. Na této trati byly v době výstavby sídliště v Porubě používány nákladní vlaky tažené "nákladními tramvajemi.

Provoz tramvají na této trati do roku 2008 nebyl nikterak zabezpečen a byl plně v zodpovědnosti řidičů a dispečera v Porubě. Toto se změnilo až na základě tragické nehody v dubnu roku 2008, kdy došlo ke kritice DPO o nedostatečnému zabezpečení tramvajového provozu. Prvotně byl provoz na této trati řízen předpisem D3 (pro výjezd z výhybny musel mít řidič souhlas dispečera). Následně v roce 2009 došlo k nainstalování zabezpečovacího zařízení od firmy AŽD Praha.

Úsek trati mezi smyčkou Poruba - Vřesinská a smyčkou Zátiší je napájen ze dvou trakčních měníren. První je trakční měnírna Vřesina a druhá je trakční měnírna Dolní Lhota. Vzhledem k zabezpečení jednokolejného úseku je napájení troleje vypínáno v případě, že tramvaj vjede do zabezpečeného úseku. Tyto dvě měnírny se mohou navzájem zálohovat pomocí motorického odpojovače umístěného na pomocném vedení nebo sepnutím úsekových trakčních napáječů umístěných v trakční měnírně Vřesina.

Úsek, ve kterém bylo provedeno měření je napájen za běžného provozu napájen jiným způsobem než při vlastním měření. Z tohoto důvodu bylo napájení převedeno na náhradní napájení, kterému předcházely zkratové zkoušky, aby vyhovovaly zkratové poměry v napájeném úseku trati. Po dobu měření, byl úsek, ve kterém se provádělo měření napájeno z měnírny Vřesina a z tohoto důvodu dále popíši jen vybavení této měnírny.

4.2.1. Elektrická část TNS

4.2.1.1. Rozvodna 22 kV

Trakční měnírna Vřesina na této trati je napájena ze sítě distributora ČEZ distribuce jednou přívodní linkou, která je zavedena do měnírny přes průchodky do přívodní kobky. Jedná se především o poměrně malou měnírnu s vysokou provozní bezpečností, vyšší spolehlivostí a menším vlivem nepříznivých účinků okolního prostředí na zařízení. V kobkách VN je použit maloolejový vypínač.

Přívod elektrické energie k měnírně je v napěťové hladině 22 kV IT soustavou venkovním vedením. Svodiče přepětí jsou instalovány uvnitř přívodní kobky v budově. Jsou na bázi oxidu zinečnatého se zkratovou odolností 10 kA. Celkem jsou instalovány 3 ks.

Rozvodna 22 kV se nachází v přízemí budovy měnírny. Trakční transformátor je zde použit suchý s přirozeným ochlazováním vzduchem.

4.2.1.2. Stanoviště trakčních transformátorů

V měnírně Vřesina je instalován jeden trakční suchý transformátor s jmenovitým zdánlivým výkonem 1100 kV.A, primární strana je napájena 22 kV s možností přepojení + -2,5%+-5% a proudem 28,86 A. Výstupní napětí na sekundární straně je 520 V s proudem 1221,3 a u_k – napětím na krátko 8,58 %. Jedná se o typ trakčního transformátoru 3 fázový s frekvencí 50 Hz a typovým označením 30T 12S 126/74 . Tento instalovaný transformátor v této měnírně byl vyroben v roce 1990.

Stanoviště je řešeno jako jedna kobka v budově, která je vzájemně oddělená od rozvodny 22 kV a 0,6 kV. Chlazení transformátoru je přirozeným prouděním vzduchu AN a izolace je třídy F. Trakční transformátor má primární vinutí zapojeno do hvězdy a sekundární do trojůhelníkaYd1.

Obrázek 4.5 – *Trakční transformátor v měnírně Vřesina*

Zapínaní transformátoru je možno provést dálkově z elektrodispečinku, místně tlačítky z kobky nebo nouzově ručně klikou u výkonového vypínače.

4.2.1.3. Usměrňovače

Pro vlastní usměrnění je použito jednoho křemíkového diodového usměrňovače v můstkovém zapojení, který je vzduchem chlazený. Jedná se o typ 3-UKTB-3M má dva rámy tvořící jeden usměrňovací celek. Na usměrňovač je přivedeno napětí z trakčního transformátoru 520V a po usměrnění se zvyšuje na 660 V s možnosti zatížení 1500 A (2x750 A).

Obrázek 4.6 – *Usměrňovače v můstkovém zapojení*

Napětí z usměrňovačů je přivedeno kabelovými propojkami do rozvodny 660V, odkud přes úsekové trakční napáječe jsou napájeny příslušné trakční úseky.

4.2.1.4. Vlastní spotřeba

Napájení vlastní spotřeby trakční transformovny je řešeno pomocí třífázového olejového transformátoru TVS-1 s převodem 22/0,4 kV o zdánlivém výkonu 50 kV A, který je napájen z jedné z kobek rozvodny 22 kV. Měnírna je dále napájena trojfázovým nízkým napětím z distribuce ČEZ 0,4 kV, které slouží jako záložní napájení především při provádění revizí, přes suchý oddělovací transformátor s převodem 0,4/0,4 kV o zdánlivém výkonu 20 kV.A. Pro napájení spotřebičů malého napětí ochrany a signalizaci je rovněž použito 24 V ss ze staničních baterií.

4.3. Měření v úseku měnírny Vřesina směr smyčka Zátiší

Měření ve vybraném úseku se uskutečnilo dne 23.10.2012 od 9:30 hodin do do 17 hodin. V době měření bylo napájení úseku převedeno na měnírnu Vřesina.

Meteorologické podmínky na počátku měření, bylo zataženo a půda byla zvlhlá po předchozím dešti. Při prováděném měření ve vybrané lokalitě občas pršelo a stále bylo zataženo.

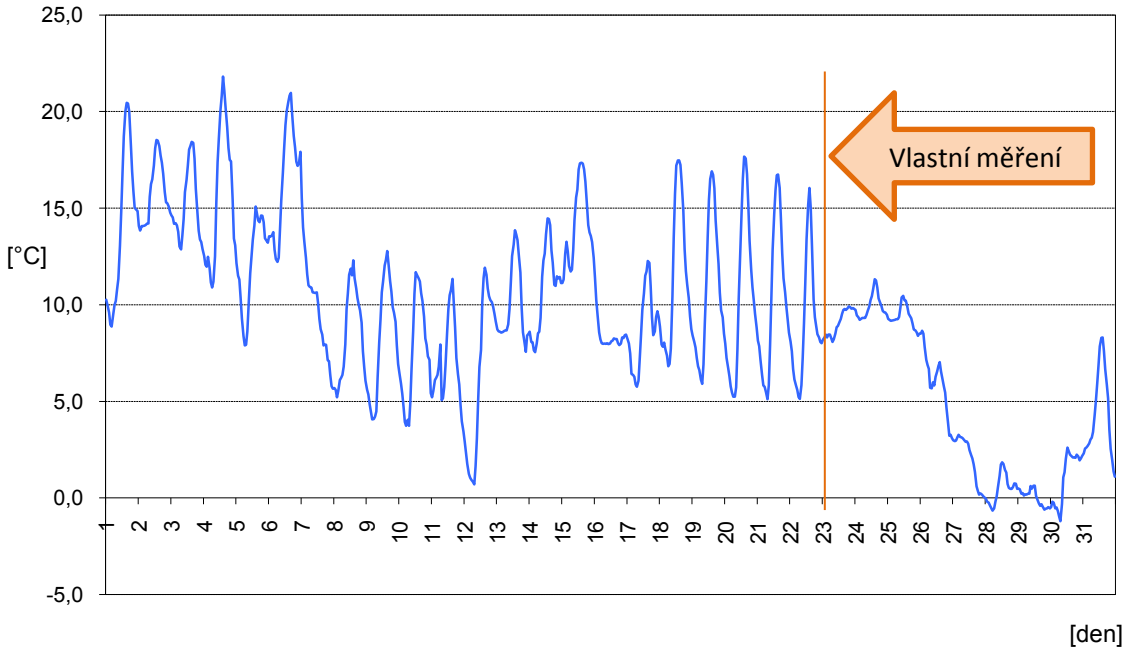
Tabulka teplot ve stupních Celsia v hodinových profilech měřených na vozovně Poruba v průběhu vlastního měření. Pro srovnání hodnot je uvedena tabulka v *příloze C,* ve které jsou hodnoty teplot několik dnů před a jeden den po měření.

V následující tabulce 4.1 jsou z naměřených hodnot vybrány minimální a maximální teploty, včetně denního průměru teplot.

Tabulka 4.1 - *Hodnoty teplot v daném dni měření a jejich vyhodnocení*

	Čt 18.10.2012	Pá 19.10.2012	So 20.10.2012	Ne 21.10.2012	Po 22.10.2012	Út 23.10.2012	St 24.10.2012
Min	6,8	5,9	5,2	5,1	5,1	8,1	9,2
Max	17,5	16,9	17,7	16,7	16,1	9,9	11,3
Průměr	11,4	10,7	10,4	10,2	9,1	9,0	9,9

Graf teplot za měsíc říjen 2012 sestaven z hodinových vzorků



Graf 4.1 - *Graf teplot za měsíc říjen 2012*

V grafu teplot jsem zaznačil hodinu, ve které bylo prováděného měření. Z grafu je patrné, že došlo v období měření v nočních hodinách k oteplení oproti předcházejícím dnům a v denní době k ochlazení ve srovnání s předešlými dny. Na konci sledovaného měsíce došlo k výraznému ochlazení oproti průměru předcházejících dnů jak je rovněž vidět z tabulky teplot Min, Max a Průměru.

U provedeného měření, bylo v úseku změněno napájení a to takovým způsobem, že úsek 1 a 2, který je za běžných provozních podmínek napájen z měnírny Dolní Lhota byl po dobu měření napájen z měnírny Vřesina. Měnírna Dolní Lhota, byla po dobu měření vypnuta.

Měnírna Vřesina napájela jednostranně úsek až do Zátiší, který má délku 6 501m viz. tabulka č.4.2. Trakční úsek 4 (Vřesina – Poruba – Vřesinská) byl při vlastním měření napájen druhým trakčním úsekovým napáječem.

Tabulka 4.2 - *Vzdálenost zastávek v měřeném úseku*

Název	Metry	
Vřesinská	0	0
Poruba koupaliště	974	974
Vřesina	1282	2256
Nová Plzeň	529	2785
Krásné Pole	864	3649
U Obory	1358	5007
Dolní Lhota	555	5562
Dolní Lhota osada	750	6312
Horní Lhota	1368	7680
Zátiší	1077	8757
Zátiší	273	9030

Napájecí plány vybraných úseků jsou uvedeny v *příloze D* pro napájení trolejového vedení a pro zpětné vedení je uvedeno schéma v *příloze E*. Napájecí schémata jsou zpracovány a aktualizovány pracovníky DP Ostrava. V napájecím schématu jsou vyznačena místa děličů a napájení trakce z měníren viz. legenda na *příloze D.*

4.4.Stanovení míst měření a jeho vlastní provedení

V rámci měřeného úseku, byla na základě optimalizace měření vytipována vhodná místa v blízkosti trati, na kterých bylo možné realizovat toto měření. Pro měření byla stanovena tři stanoviště.

Stanoviště:

A - v měnírně

B - v lese 170m od zastávky Krásné pole směrem na Vřesinu. Měřící místo bylo vzdáleno 1223m po trati od měřicího místa A – Měnírna Vřesina

C - v lese 260m od zastávky U Obory směrem na Vřesinu. Měřící místo bylo vzdáleno 2482m po trati od místa A - Měnírna Vřesina

4.4.1. Provádění měření v místě A

V měnírně se měřil proud, který odchází do troleje klešťovým ampérmetrem Prova 2000 a potenciál kolejového výstupu měnírny (plus) proti zemi.

Pro měření + polarity byla použita přenosná referenční elektroda Cu/CuSO4, která byla umístěna v blízkosti měnírny. K měření – polarity byla použita zpětná přípojnice, která vede od kolejnic zpět do měnírny.

Obrázek 4.7 - *Umístění měřicího zařízení v místě A*

Měřicí interface s analogově digitálním převodníkem používala dolnopropustné filtry 1. řádu 5,3kHz, byla použita pro vstupní veličiny, které byly zaznamenávány.

4.4.2. Provádění měření v místě B

V měřicím místě B jsem prováděl měření, kterým jsem zjišťoval úbytek na obou kolejnicích. Pro vlastní měření jsem umístil měřicí svorky ve vzdálenosti 4,8m od sebe, kterými jsem za pomocí měřící aparatury popsané výše měřil napětí mezi kolejnicemi a potenciál země proti kolejnicím.

Přenosné referenční elektrody Cu/CuSO4 byly umístěny ve vzdálenosti 10, 20 a 40 m směrem do lesa, protože na druhé straně byla přilehlá silnice a nebylo možno z tohoto důvodu provádět měření.

Hodnoty, které byly zaznamenávány průjezdy tramvají v tomto místě, jsou znázorněny v grafech, které jsou v *příloze F*.

Pro zjištění rezistivity půdy, bylo provedeno měření, měřičem zemních odporů PU183. K zemničům vytvořených sondami z příslušenství PD183. Měření bylo provedeno Wernerovou metodou. Po změření zemního odporu, které v tomto místě bylo provedeno, jsem vypočítal rezistivitu ze vzorce uvedeného v kapitole 4.1.1 vzorec č. 4.1. Sondy při vlastním měření byly rozmístěny ve vzdálenosti 1,6 m. Provedeným měřením přístrojem byla naměřena hodnota 36,8 Ω.

Rezistivita půdy v místě B byla vypočítána z vzorce:

$$\rho = 2\pi aR = 2\pi \times 1{,}6 \times 36{,}8 \cong 370 \quad (\Omega m)$$

4.4.3. Provádění měření v místě C

V měřicím místě C jsem prováděl měření, kterým jsem zjišťoval úbytek na obou kolejnicích. Pro vlastní měření jsem umístil měřicí svorky ve vzdálenosti 4,8 m od sebe, kterými

jsem za pomocí měřící aparatury popsané výše měřil napětí mezi kolejnicemi a potenciál země proti kolejnicím.

Přenosné referenční elektrody Cu/CuSO4 byly umístěny ve vzdálenosti 10, 20 a 40 m směrem do lesa, protože na druhé straně byla přilehlá silnice a nebylo možno z tohoto důvodu provádět měření.

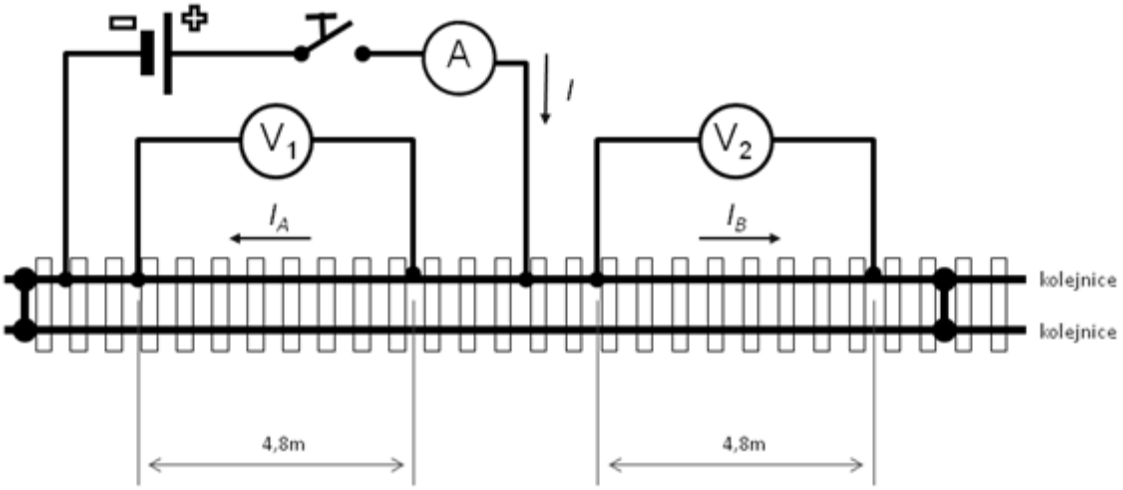
Pro zjištění rezistivity půdy, bylo provedeno měření, měřičem zemních odporů PU183. K zemničům vytvořených sondami z příslušenství PD183. Měření bylo provedeno Wenerovou metodou. Po změření zemního odporu, které jsem v tomto místě udělal, jsem vypočítal rezistivitu ze vzorce uvedeného v kapitole 4.1.1 vzorec č. 4.1. Sondy při vlastním měření byly rozmístěny ve vzdálenosti 1,6 m. Měření bylo provedeno měřicím přístrojem a tímto byla naměřena hodnota 21,1 Ω.

Rezistivita půdy v místě B byla vypočítána z vzorce:

$$\rho = 2\pi aR = 2\pi \times 1{,}6 \times 21{,}10 \cong 212 \ (\Omega m)$$

4.5. Měření odporu kolejnice

V měřicím místě B, které je popsáno výše proběhlo „cejchování“ měření odporu kolejnice pomocí proudů z autobaterie (stejnosměrného zdroje). Toto měření slouží k zjištění skutečného odporu kolejnice.



Obrázek 4.8 - *měření odporu kolejnic*

$$R = \frac{(U_1 - U_2)}{I} \qquad (4.2)$$

Na obrázku 4.8 je schéma zapojení, na základě, kterého byly naměřeny hodnoty pro vlastní výpočet.

Tabulka 4.3 – *naměřené hodnoty a vypočítaný odpor kolejnic*

Měření (n)	U_1 (mV)	U_2 (mV)	I (A)	R (mΩ)
1	67,22	-1,48	409,5	167,7
2	67,63	-1,27	412,6	167,1

R je podélný odpor kolejnice na úseku o délce 4,8 m jednotkou je (Ω);
I měřící proud (A);
$U_{1,2}$ podélné napětí v kolejnici (V), s měřícím proudem a bez měřícího proudu;

Příklad výpočtu:

Pro výpočet odporu kolejnic byl použit vzorec 4.2

$$R_1 = \frac{(0{,}06722 - (-0{,}00148))}{409{,}5}$$

$$R_1 = 0{,}1677 \text{ m}\Omega$$

Pro další výpočty jsem používal aritmetický průměr naměřeného odporu:

$$R = \frac{R_1 + R_2}{n} \tag{4.3}$$

Výsledkem měření je hodnota 0,167mV/A s tolerancí 1,8% (odchylka dvou měření od průměru).

Obrázek 4.9 - *Měření odporu kolejnic pomocí autobaterie*

4.6. Měření trakčních proudů v kolejích

V některých případech je nezbytné zjistit skutečnou velikost proudové složky (bludného proudu) unikající z trakčních kolejí do země. K tomuto účelu oddělení koroze zpracovalo metodu, která umožňuje synchronní měření zpětných trakčních proudů na stejnosměrných elektrizovaných tratích. Měření spočívá v synchronním odečtu stejnosměrných úbytků napětí na

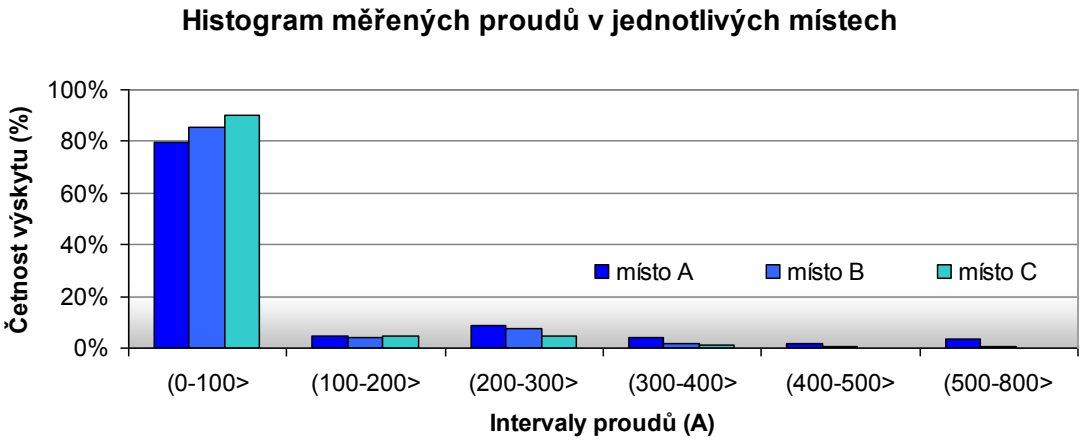
trakčních kolejích. Na základě takto zjištěných hodnot je proveden přepočet na ekvivalentní hodnoty proudů a jejich porovnání v jednotlivých úsecích proměřovaného traťového úseku. K synchronnímu záznamu úbytků napětí na kolejnicových pásech se používají záznamníky s větší časovou konstantou.

5. VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ

Měření ve vybraném úseku bylo zaznamenáváno v časovém rozmezí od 12:57 do 15:40 hod. Během této doby byl zaznamenán průběh proudu a napětí v jednotlivých měřených stanovištích. Na základě naměřených hodnot byly dopočítány proudové hodnoty v jednotlivých místech měření. Účelem měření proudů v kolejích bylo zjistit skutečnou velikost proudové složky (bludného proudu) unikající z trakčních kolejí do země. K tomuto účelu oddělení koroze TÚDC autorsky zpracovalo metodu, umožňující synchronní měření zpětných trakčních proudů na stejnosměrných elektrizovaných tratích. Princip měření spočívá v synchronním odečtu stejnosměrných úbytků napětí na trakčních kolejnicích, jejich přepočet na ekvivalentní hodnoty proudů a jejich porovnání v dílčích úsecích proměřovaného trakčního traťového úseku. Převody byly provedeny na základě zjištěných údajů provedeným vlastním měřením.

5.1. Vyhodnocení proudů odcházejících z měnírny

V měnírně se mění velikost proudů, které napájejí elektrickou trakci v čase. Z tohoto důvodu jsem sestavil histogram graf 5.1 z vybraného časového intervalu od 13:33:53 hod. do 13:59:59 hod. provedeného měření. Celkem bylo vyhodnoceno v histogramu 3 132 vzorků. Histogram udává procentní zastoupení intervalů proudů v jednotlivých měřených místech.



Graf 5.1 - *Histogram měřených proudů v jednotlivých místech*

Nejvyšší proud byl zaznamenán v místě A v 13:35:53 hod. a měl velikost 731,4 A. V místě B byla nejvyšší hodnota proudu zaznamenána v 13:34:04 hod. a měl velikost 680,0 A. V místě C proud maximální velikost 401,32 A v 13:45:04 hod. Analyzované hodnoty vycházejí z vybraného vzorku, který je uveden v *příloze F.* V grafu je zobrazen časový průběh naměřených okamžitých hodnot odebíraného proudu v trakční měnírně. V časovém průběhu jsou patrné poklesy odběru trakčního proudu v místech, kdy tramvaj stojí, případně, kdy jede setrvačností.

Z tohoto důvodu jsem použil histogram, aby bylo patrné, že v měřeném místě A je 79,63% hodnot v intervalu 0-100 A. V místě B a C se v tomto intervalu četnost výskytu v % ještě zvyšuje. Vzhledem k výše uvedeným skutečnostem pro další vyhodnocení proudů použiji pouze dílčí úseky, které mají výrazný vliv na úložná zařízení.

Ze souboru naměřených dat jsem na základě jízdních řádů uvedených v *příloze G* a grafikonu uvedeném v *příloze H*, vybral podle průjezdu vozu č. 805 reprezentativní vzorek dat, které jsou následně porovnávány ve stejných úsecích. Typ vozu, u kterého jsem prováděl analýzu je tramvajový vůz dvoučlánkový šestinápravový jednosměrný s označením K2 s el. výzbrojí TV8. Jedná se o výzbroj pulsní tyristorovou s možností rekuperace, která byla vyrobena v ČKD Trakce a.s. Délka skříně vozidla je 20 400 mm s hmotností prázdného vozidla 23 870 kg a plně obsazeného vozidla je hmotnost 37 200 kg.

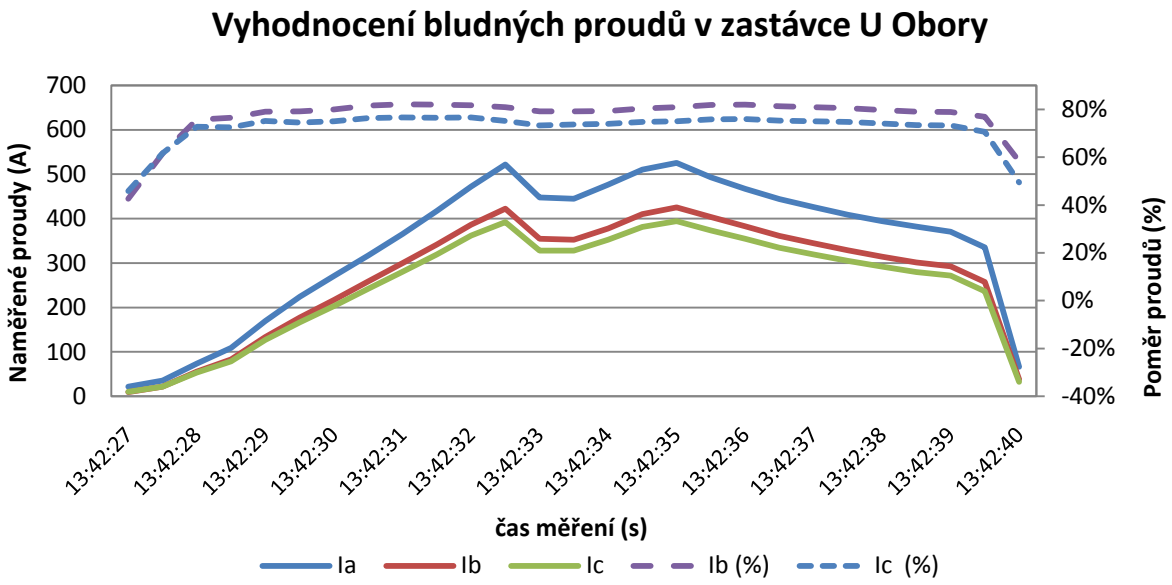
Data, která používám k sestavování grafů, jsou velmi obsáhlá a z tohoto důvodu jsem z těchto dat vytvořil grafy, které budou specifikovány a popsány. Z tohoto důvodu zde neuvádím tabulky naměřených dat. Při sestavení grafu jsou použity dvě osy, na jedné ose jsou vyneseny hodnoty proudů a na druhé ose je vyjádřena závislost poměru proudů v místě měření B a C k proudu měnírny.

První úsek dat, u kterého jsem zpracoval do grafů data, byly zaznamenány po průjezdu vozu č. 805 měřicími stanovištěm A, B a C v době po 13:39 hod. a 14:45 hod. ve směru na Zátiší. U těchto dvou průjezdu jsem vyhodnotil několik míst. V tabulce níže jsou zaznamenána data o tramvajích a jejich zastávkách, vzdálenosti tramvaje od začátku sledovaného úseku, čas zavření dveří a jízdní řád – dále jen grafikon. Grafikon je součásti *přílohy H.* V *příloze CH* jsou zaznamenány názvy zastávek, grafikon a čas zavření dveří vozu č. 805 v průběhu prováděného měření. V tabulce 5.1 jsou vybrány, průjezdy, ze kterých jsem následně vybral záznamy jednotlivých průjezdů tramvají.

Tabulka 5.1 – *odjezdy tramvaje č. 805 z jednotlivých zastávek*

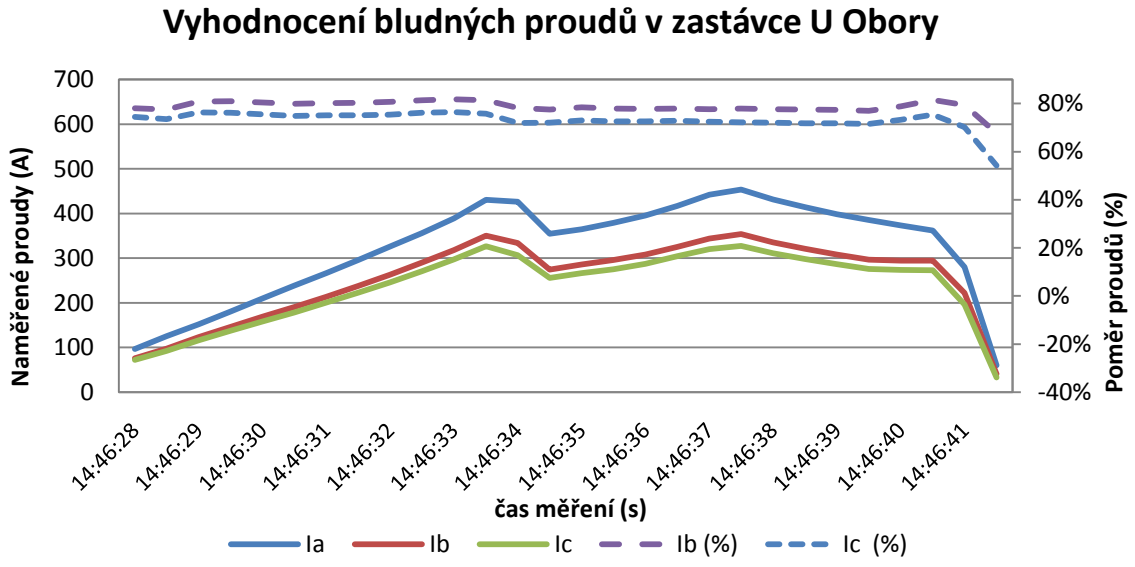
		kurz 402B		kurz 402U	
	vzdálenost (m)	čas zavření dveří	grafikon	čas zavření dveří	grafikon
Vřesina	0	13:36:33	13:36	14:40:26	14:40
Nová Plzeň	529	13:38:02	13:37	14:42:04	14:41
Krásné Pole	1393	13:39:41	13:39	14:43:38	14:43
U Obory	2751	13:42:23	13:42	14:46:23	14:46
Dolní Lhota	3306	13:43:53	13:43	14:47:53	14:47
Dolní Lhota osada	4056	13:45:18	13:44	14:49:22	14:48
Horní Lhota	5424	13:47:18	13:46	14:51:11	14:50
Zátiší	6501	13:49:47	13:48	14:53:24	14:52

První časový interval pro vlastní vyhodnocení bludných proudů jsem vybral v úseku, kdy tramvaj již byla za všemi třemi stanovištěmi měření a jela ve směru od Vřesiny na konečnou Zátiší. Všechny další grafy, ve kterých jsou zaznamenány okamžité hodnoty proudů, byly rovněž vybrány z časového úseku, kdy tramvaj byla za měřicími stanovištěmi ve směru na konečnou zastávku Zátiší.



Graf 5.1 - *Zastávka U obory vyhodnocení v 13:42:27 – 40 číslo kurzu 402B*

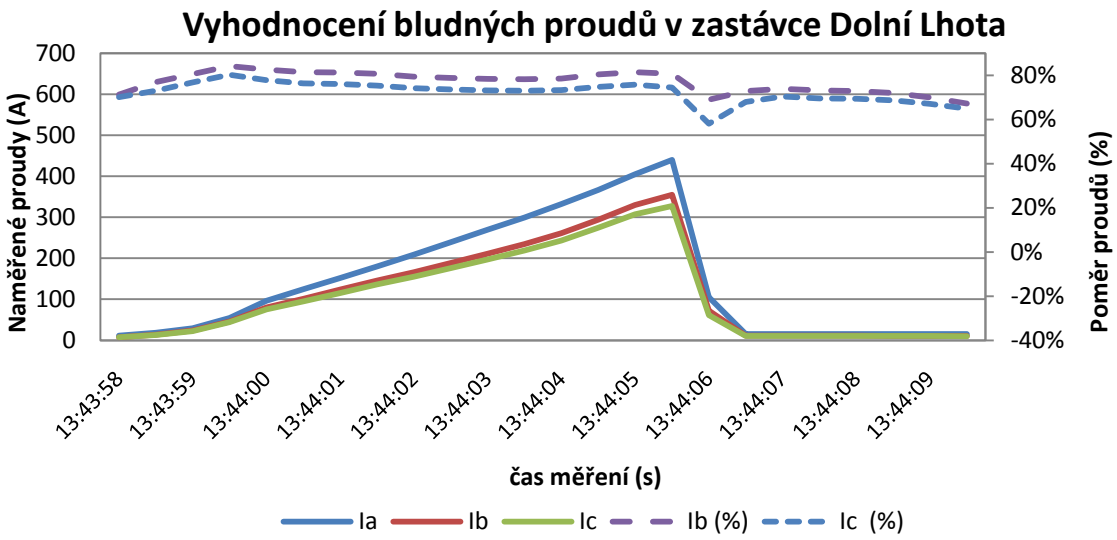
Na následujícím grafu jsou zaznamenány proudy ve stejném úseku se stejnou tramvají v pozdějším čase kurz 402U.



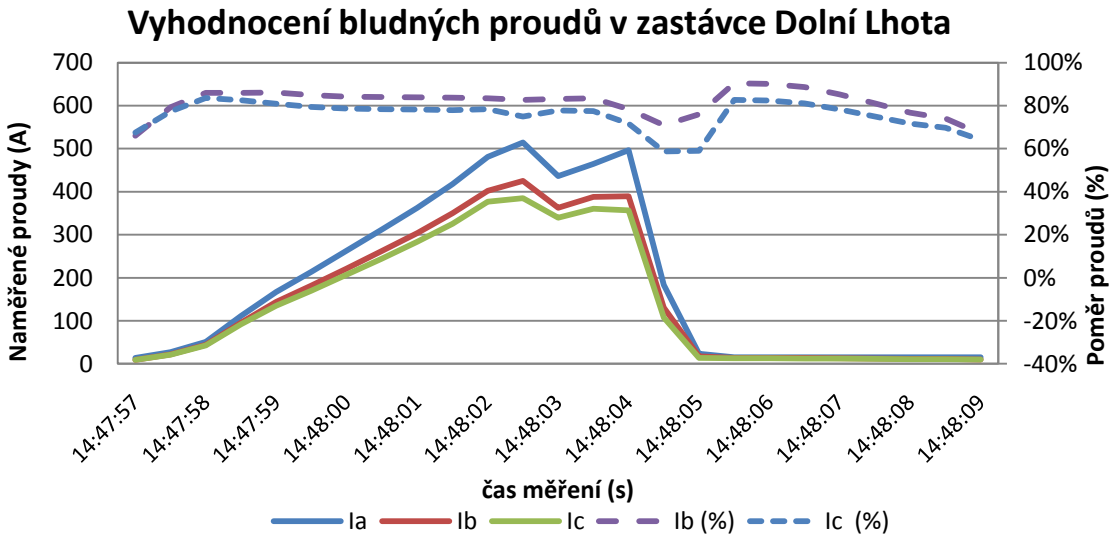
Graf 5.2 - *zastávka U obory vyhodnocení v 14:46:28 – 41číslo kurzu 402U*

Z průběhů těchto grafů je zřejmé, že bludné proudy vznikají především při zvýšeném odběru proudů tramvají ve sledovaném úseku. Pokud je proud z měnírny v hodnotách do 100 A je patrné, že bludné proudy jsou v tomto úseku nepatrné, protože křivky Ia, Ib a Ic se překrývají.

Další úsek byl vybrán pro srovnání měřených jednotlivých proudů ve vzdálenosti 3306 m od měnírny Vřesina, ze které je napájen tento sledovaný úsek.

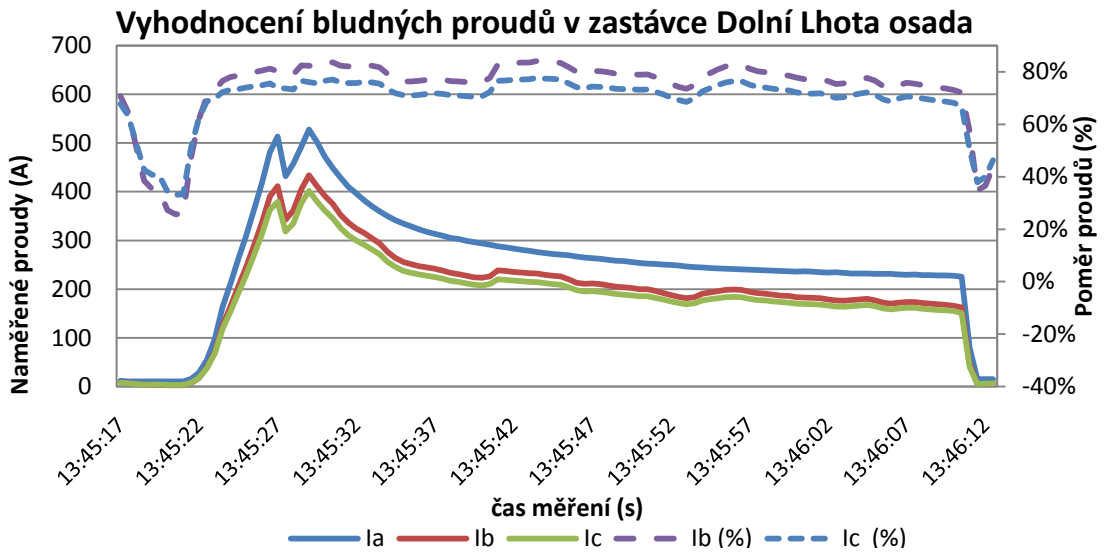


Graf 5.3 - *zastávka Dolní Lhota vyhodnocení v 13:43:58 – 09 číslo kurzu 402B*

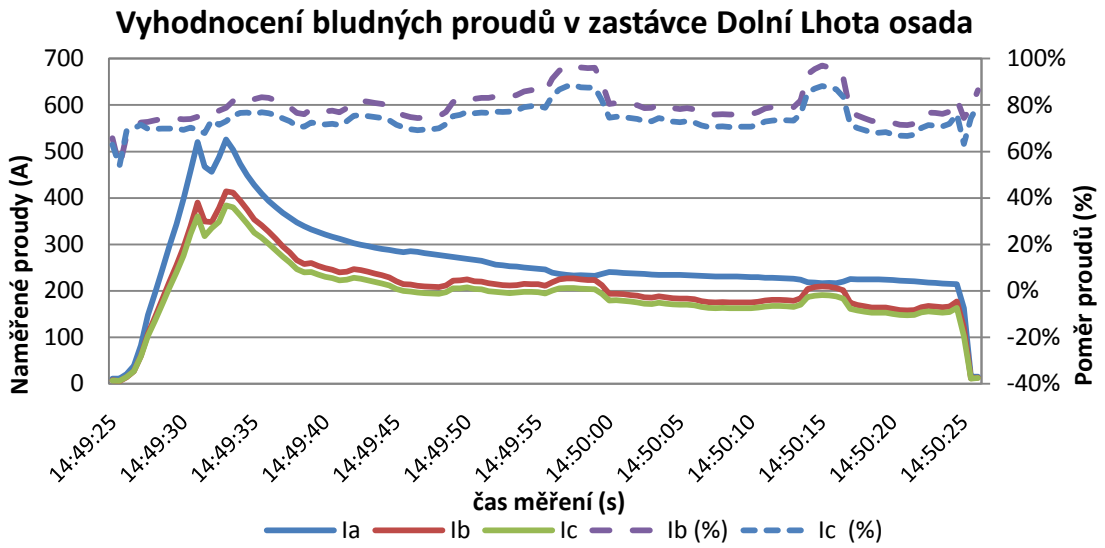


Graf 5.4 - zastávka Dolní Lhota vyhodnocení v 13:43:58 – 09 číslo kurzu 402U

Další sledovaný úsek pro vyhodnocení jsem zvolil úsek za zastávkou Dolní Lhota osada, ve kterém se tramvaj po odbavení cestujících v zastávce opět rozjížděla. Tento sledovaný úsek je již 4 056 m od měnírny Vřesina.



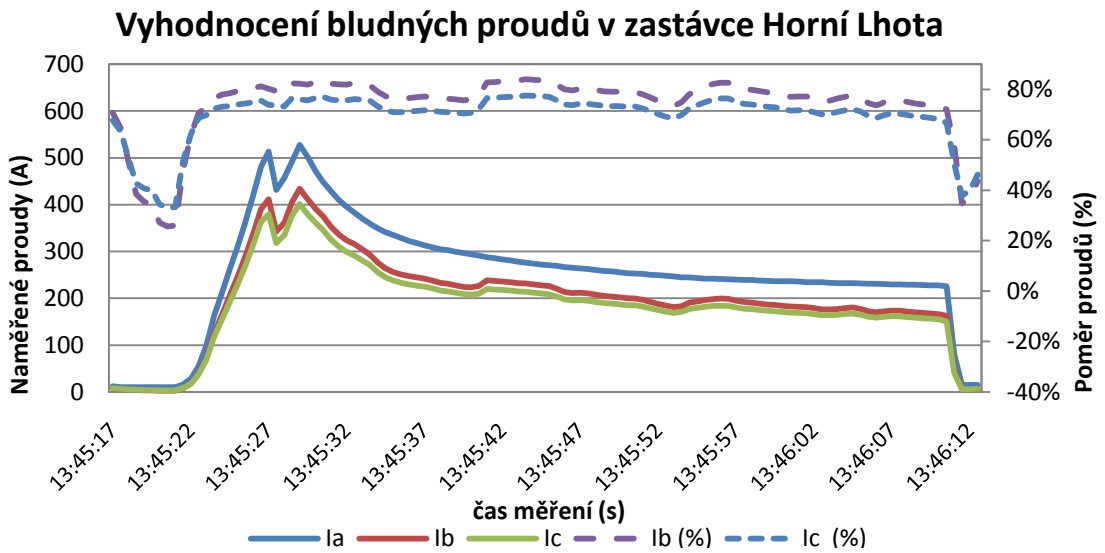
Graf 5.5 - *Dolní Lhota osada vyhodnocení v 13:45:17 – 12 číslo kurzu 402B*



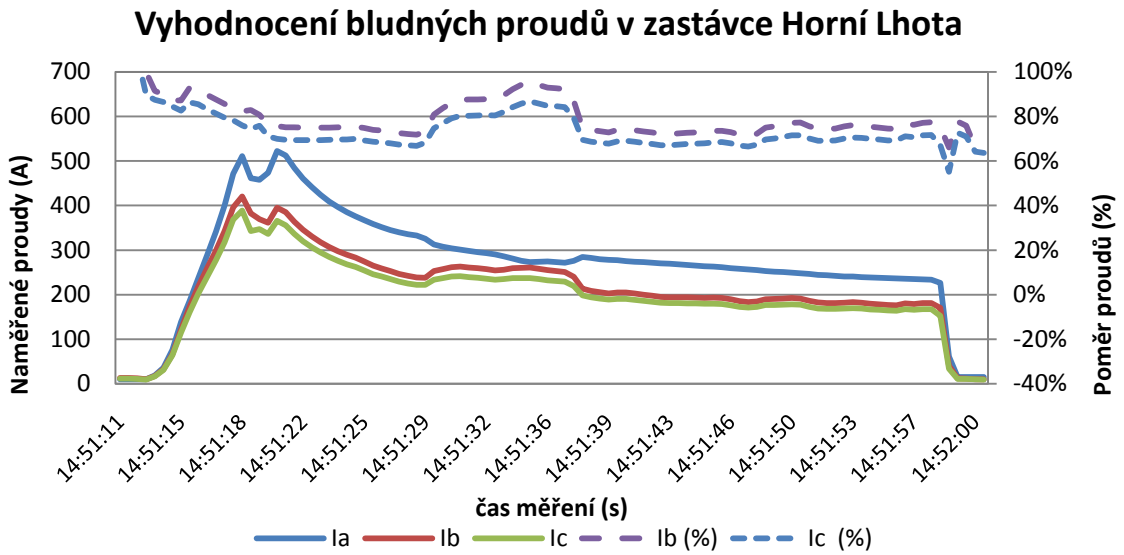
Graf 5.6 - *Dolní Lhota osada vyhodnocení v 14:49:25 – 25 číslo kurzu 402U*

Z těchto grafů v této oblasti je vidět, že jsou zde místa, ve kterých jsou příhodné podmínky pro vedení bludných proudů. Proud Ib v těchto místech dosahuje 100 % hodnoty proudu Ia (měnírny), tj. minimalizuje se odchylka měřených veličin.

Posledním sledovaným místem, které jsem vybral pro porovnání velikosti proudu v místech A, B a C je oblast za zastávkou Horní Lhota, která je vzdálená 5 423 m od měnírny Vřesina.



Graf 5.7 - *Horní Lhota osada vyhodnocení v 13:45:17 – 12 číslo kurzu 402B*



Graf 5.8 - *Horní Lhota osada vyhodnocení v 14:51:11 – 00 číslo kurzu 402U*

U posledního vybraného místa je rovněž vidět, že i přes zvětšující vzdálenost tramvaje od napájecího místa dochází vlivem bludných proudů k situaci, že v některých místech se proudy Ib a Ic velmi přibližují proudů Ia a dosahují bezmála jeho velikosti.

5.2. Návrh opatření pro omezení vlivu bludných proudů

Ve vyhodnocených průbězích zobrazených v grafech je patrný silný vliv bludných proudů, především se zvětšující se velikosti a vzdálenosti pozorovaného odběru od místa napájení. Jako hlavní příčinu zvyšujícího bludného proudu v těchto úsecích je především to, že napájení trati bylo převedeno z důvodu měření na náhradní tzv. nouzové, ve kterém jsou úseky 1 a 2 napájeny z měnírny Vřesina. Pro vlastní snížení unikajících bludných proudů je potřeba využít

napájení z měnírny Dolní Lhota a eliminovat dobu používání napájení trakčních zařízení z měnírny Vřesina.

Hlavním ochranným opatřením pro omezení vlivu bludných proudů jsou základní pasivní ochranná opatření, která snižují únik bludných proudů. Další možností je zvýšení počtu zpětných kabelů od napájecího místa podél celé trati. Zvýšení odporu kolejnic proti zemi je dílčí ochranné opatření, které snižuje působení bludných proudů.

6. ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývá vlivem elektrické vozby na úložná zařízení. V první kapitole je popsána problematika zemních proudových polí, rovněž jsou zde popsány základní pojmy elektroenergetiky v dopravě, elektrochemická koroze a její vliv na úložná zařízení.

Ochrany úložných zařízení před elektrochemickou korozí jsou popsány v druhé kapitole, kde je i popsána protikorozní ochrana a korozní mechanismy při korozi úložných zařízení. V této kapitole jsou popsány možnosti protikorozní ochrany a popsány jejich princip a omezení. Zde je také vysvětlen princip elektrochemické ochrany a způsoby ochrany před účinky bludných proudů. V následující kapitole se věnuji měření na vybraném objektu, kde jsou popsány použité měřicí přístroje. Specifikuji popis trakčního úseku, na kterém bylo provedeno měření. V této kapitole je část věnována koroznímu průzkumu a měření na zpětné trakční cestě.

Cílem této diplomové práce bylo provést vlastní měření se záznamem proudů, který odchází z měnírny a prochází jednotlivými měřicími místy. Proudy byly zaznamenány v časovém úseku, ze kterého bylo provedeno sestavení vlastních grafů. Pro sestavení grafů jsem vybral tři časové úseky. Z těchto jsem následně vybral stejnou tramvaj, která jela po stejné trati ve stejném směru. Vyhodnocení v grafech jsem prováděl ve stejné vzdálenosti od napájecího místa měnírny Vřesina.

Z naměřených průběhů je patrný silný vliv bludných proudů. Příčinou tohoto nepříznivého stavu je ta skutečnost, že pro vlastní měření bylo změněno napájení trati. Důsledkem toho bylo, že došlo k silnému působení bludných proudů v blízkosti napájeného úseku především z důvodu velké vzdálenosti úseku bez zpětných kabelů. Pokud by napájení tohoto úseku trati bylo využíváno často z trakční měnírny Vřesina, mělo by být provedeno dodatečné ochranné opatření, aby nehrozilo nebezpečí oslabení výztuže železobetonových konstrukcí, popraskání betonu a ohrožení osob nacházejících se v blízkosti trakčních zařízení.

Jako ochranná opatření proti nepříznivým účinkům bludných proudů se navrhují opatření již v průběhu stanovení napájecích plánu. Hlavní ochranná opatření pro omezení vlivu bludných proudů navrhuji využívat základní pasivní ochranná opatření:

- primární ochranu,
- sekundární ochranu,
- konstrukční opatření.

Pro další eliminaci bludných proudů je vhodné rovněž využit aktivních ochran na stavbách železničního spodku. Další možnou ochranou pro omezení vlivu bludných proudů je využití ochrany obětní (reakční) anodou.

Problematika bludných proudů souvisí nejen se zpětnou trakční cestou, ale současně i se soustavou úložných zařízení, které se mohou nacházet v bezprostřední blízkosti, ale mohou být i vzdáleny od vlastní trakční cesty. Tato problematika bludných proudů souvisí i elektrickými rozvody linky vvn, provedenými ochranami trakčních zařízeních jak pasivními tak i aktivními, rozložení NS a ZS. U elektrizovaných drah je tato problematika spjata i s plánovanými, nebo neplánovanými výlukami na trakční dopravní cestě. Jako jediný skutečně účinný způsob

pro zjištění aspektů z důvodu navržení účinných ochran na zpětné trakční cestě je využití analýzy příčin vzniku negativních jevů. Tato analýze se používá i u koridorových tratí, která vyhodnocuje úniky bludných proudů z kolejí. Zjištění informací pro tuto analýzu znamená zabezpečit velký rozsah měření při různých podmínkách provozu na trati včetně provedení korozního průzkumu.

Bibliografické citace:

KNIHY

[1] BEKMAN V., ŠVONK V.: *Katodnaja zaščita ot korrozii*, Moskva: Metallurgia1984, 495 s.

[2] FEYNMAN R. P., LEINGHTON R. B., SANDS M.: *Feynmanovy přednášky z fyziky s řešenými příklady 2/3*, 2001 Havlíčkův Brod: Nakladatelství Fragment, 806 s., ISBN 80-7200-420-4

[3] JANSA František, PELAŇSKÝ Štěpán: *Napájení elektrických drah III*, 2. vydanie Nitra: Alfa 1982, 196 s.

[4] MÜLLER Jaroslav, FAMFULÍK Jan a PALEČEK Josef: *Mobilní prostředky a trakční zařízení*. [2.], přeprac. a dopl. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, Strojní fakulta, 2002, 127 s. Elektro (IN-EL). ISBN 80-248-0054-3.

[5] PALEČEK Josef: *Napájení jednofázové vozby Českých drah z hlediska elektromagnetické kompatibility*. Vyd. 1. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2000, 98 s. ISBN 80-707-8791-0.

[6] PELAŇSKÝ Štěpán, KUPKA Ľudovít: *Napájení elektrických drah I*, 1. vydanie Bratislava: Alfa 1975, 390 s.

[7] PELAŇSKÝ Štěpán, JURKA Vladimír: *Napájení elektrických drah II, Trakční vedení – část 2*., 1. vydanie Bratislava: Alfa 1971, 144 s.

[8] POLÁK Josef, VELETA Pavel: *Rukověť katodické protikorozní ochrany*. 1. vyd. Praha: Český plynárenský svaz, 2002, 534 s. ISBN 3-527-29586-0.

[9] VIKTORIN Jan: *Vlivy elektrických trakčních systémů na sdělovací a zabezpečovací zařízení*. 1. vydání. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1971. 230 s.

INTERNET A OSTATNÍ:

[10] KOUDELKA C.:*Bludné proudy*, Ostrava 2003

[11] *Protikorózní ochrana*, [online]. [cit. 2012-07-19]. Dostupné z: http://people.tuke.sk/augustin.varga/Texty/Protikorozna%20ochrana.pdf

[12] PALEČEK Josef: *Elektroenergetika v dopravě přednášky z předmětu*, Ostrava 2012

[13] *Pravidla technického provozu městských drah*, Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1970, 131 s.

[14] *Základní ochranná opatření pro omezení vlivu bludných proudů na mostní objekty a ostatní betonové konstrukce pozemních komunikací, TP 124* JEKU s.r.o., prosinec 2008

[15] ŽALUDA Petr: *Železniční doprava a energetika. In: České dráhy*: *Železniční doprava,* [online]. [cit. 2012-07-19]. Dostupné z: http://www.cd.cz/old/TCD2008/8_18doen.htm

[16] VAVŘÍN F. a kolektiv: *Ochrana výztuže v betonu proti korozi vyvolané bludnými proudy*, Stavební výzkum 19/84, č.6

[17] *Návod k používání PU 183.1,* [online]. [cit. 2012-09-19]. Dostupné z: www.metra.cz/files/navody/revize/metra-blansko-pu183.1-navod-cz-120312.pdf

[18] *Technické parametry měřicího přístroje Prova 2000*, [online]. [cit. 2013-02-11]. Dostupné z: http://www.isre.com/specs-prova2000-clamp_meter.htm

[19] ŽÍDEK J.: *Grafické programování ve vývojovém prostředí LabVIEW*, VŠB – TU Ostrava, Výuková skripta, 2002

[20] *Poškození železobetonové konstrukce*, [online]. [cit. 2013-02-29]. Dostupné z: http://pavlat-znalec.com/investing/praxe/karbon/karbon.html

[21] *Corrosion of Steel in Concrete*, [online]. [cit. 2013-03-01]. Dostupné z: http://www.cathodicprotection.com/Website2009/essays4.htm

[22] *Korozní inženýrství*, [online]. [cit. 2013-03-01]. Dostupné z: http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni_inzenyrstvi_se/koroze/

ČSN

[23] ČSN 038350, *Požadavky na protikorozní ochranu úložných zařízení,* Září 1996, Praha: Český normalizační institut, 1996.

[24] ČSN 038365, *Zásady měření při protikorozní ochraně kovových zařízení uložených v zemi*: *Stanovení přítomnosti bludných proudů v zemi,* Únor 1987, Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1987.

[25] ČSN EN 50121-1 ed.2, *Drážní zařízení - Elektromagnetická kompatibilita,* Červen 2007, Praha: Český normalizační institut, 2007.

[26] ČSN EN 50122-1 ed.2, *Drážní zařízení-Pevná trakční zařízení-Elektrická bezpečnost, uzemňování a zpětný obvod*: *Část 1: Ochranná opatření proti úrazu elektrickým proudem,* Listopad 2011, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, 2011.

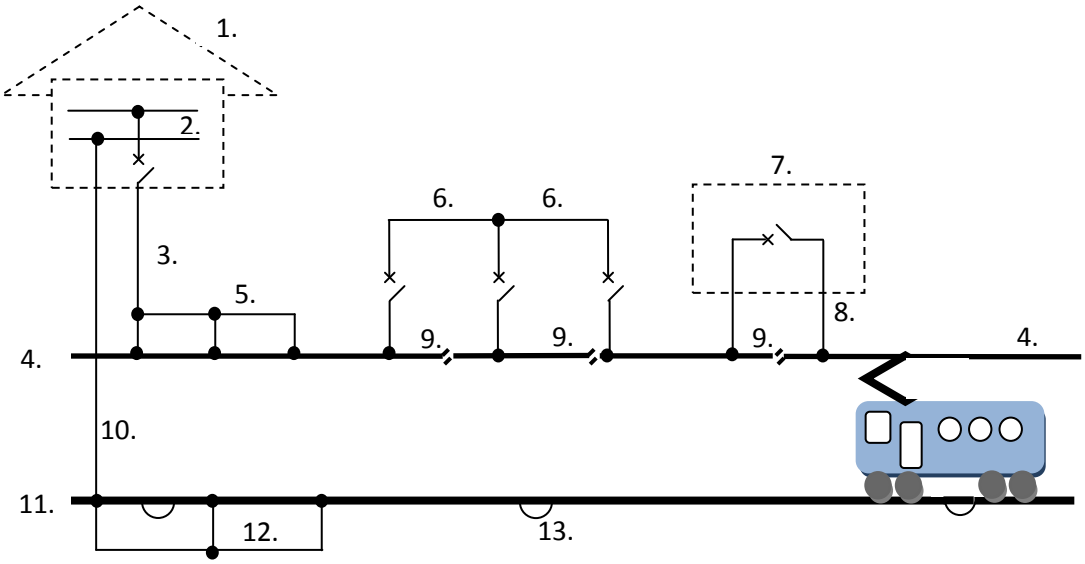
[27] ČSN EN 50122-2, *Drážní zařízení - Pevná trakční zařízení*: *Část 2: Ochranná opatření proti účinkům bludných proudů, způsobených DC trakčními proudovými soustavami,* Červenec 2001, Praha: Český normalizační institut, 2001.

[28] ČSN EN 50162, *Ochrana před korozí bludnými proudy ze stejnosměrných proudových soustav,* Duben 2005, Praha: Český normalizační institut, 2005.

[29] ČSN EN 50119 ed.2, *Drážní zařízení – Pevná zařízení – Elektrická trakce – Izolační syntetická lana pro montáž v sestavách nadzemních trolejových vedení,* Květen 2010, Praha: Český normalizační institut, 2010.

Seznam příloh:

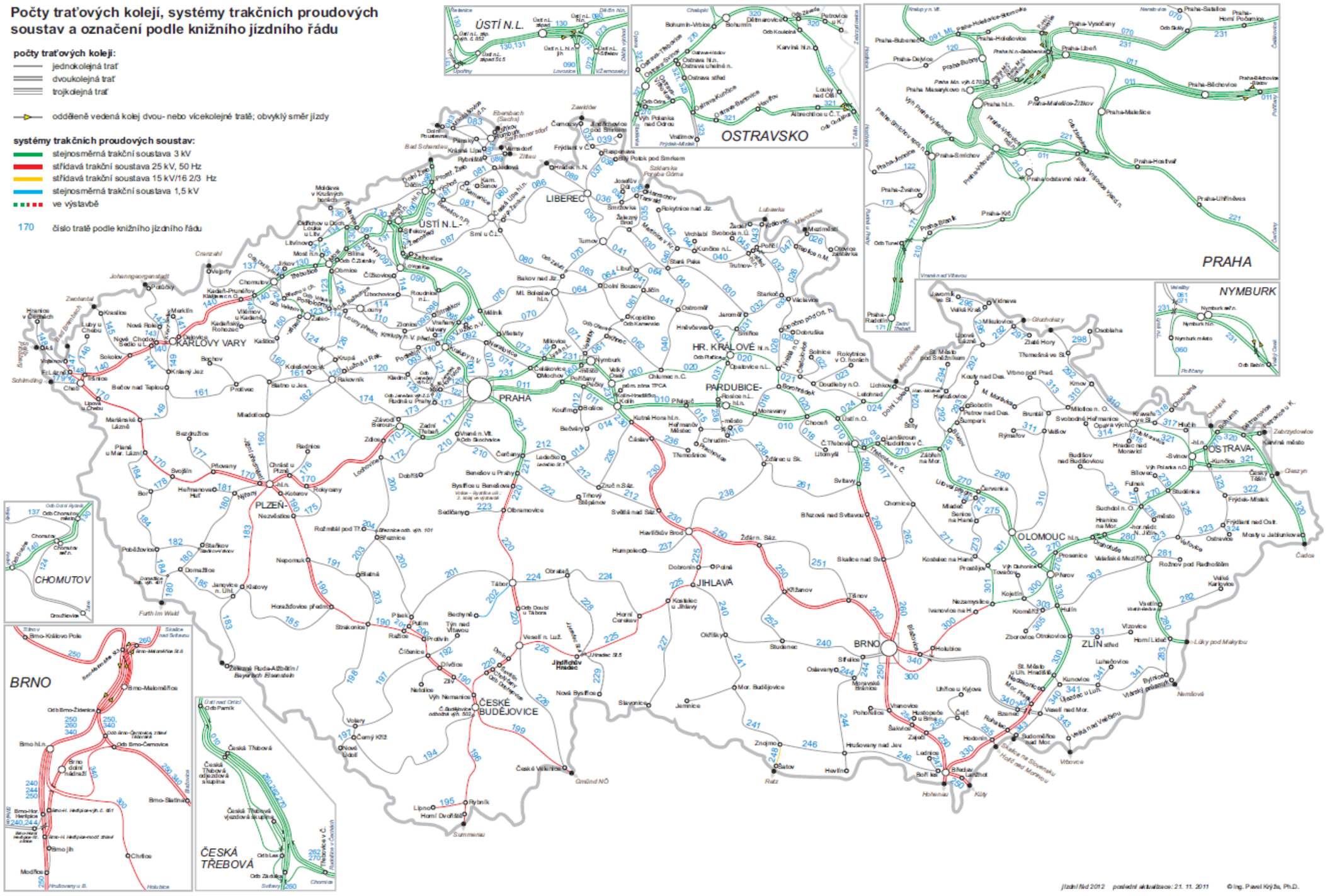
Příloha A *Obrazová příloha:* Přehledové schéma trakčního obvodu



Popis schématu trakčního vedení:

1. Trakční napájecí stanice (TNS)
2. Přípojnice (sběrnice)
3. Napájecí vedení
4. Trolejové vedení
5. Zesilovací vedení
6. Obcházející vedení
7. Spínací stanice
8. Spínací vedení
9. Sjízdné úsekové děliče (izolační spojka)
10. Odváděcí vedení (zpětné kabely)
11. Kolejnicové vedení (kolejnice)
12. Pomocné zpětné vedení
13. Kolejnicové svorky [34]

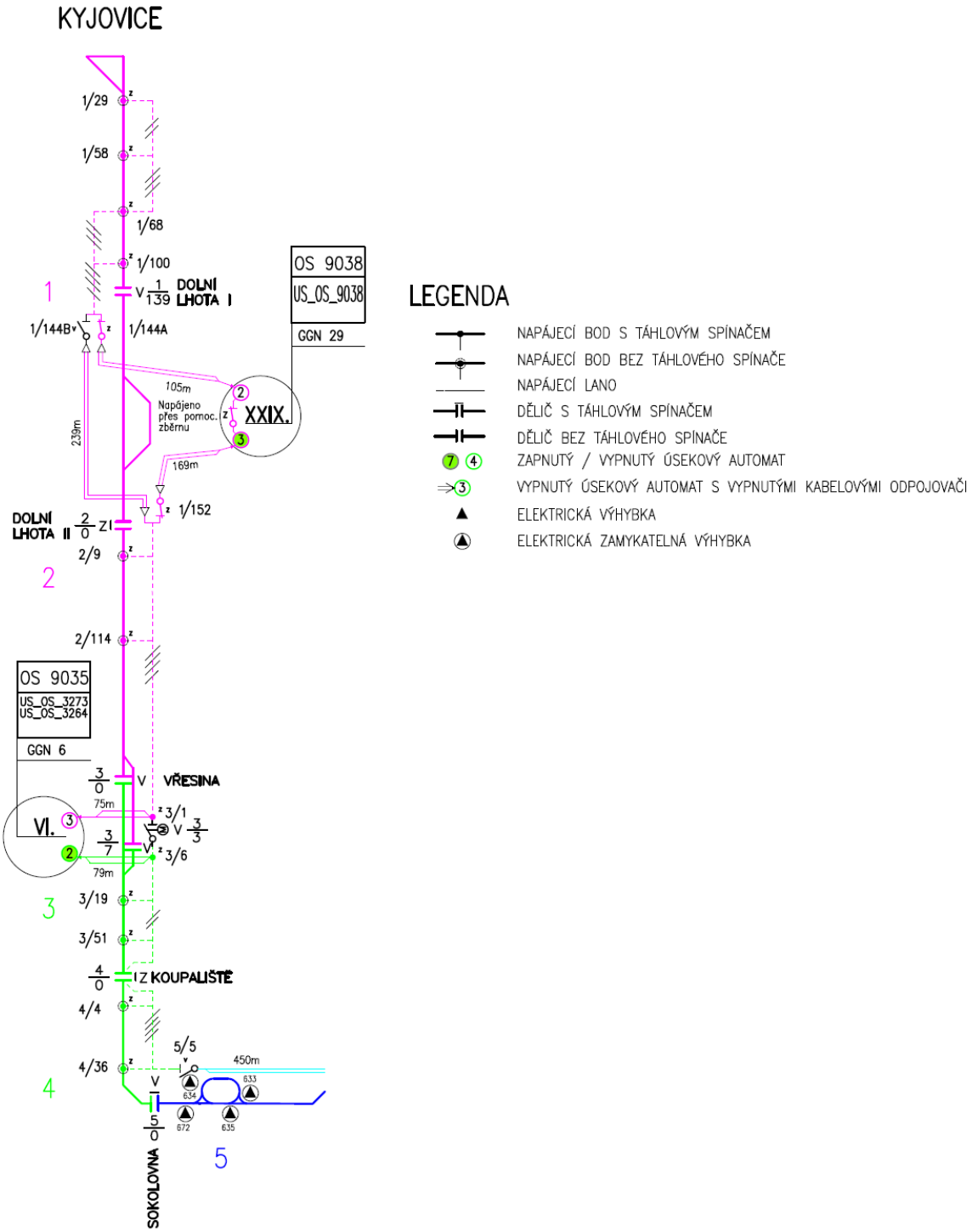
Příloha B *Obrazová příloha:* Systémy trakčních proudových soustav v ČR a jejich označení podle jízdního řádu ČD



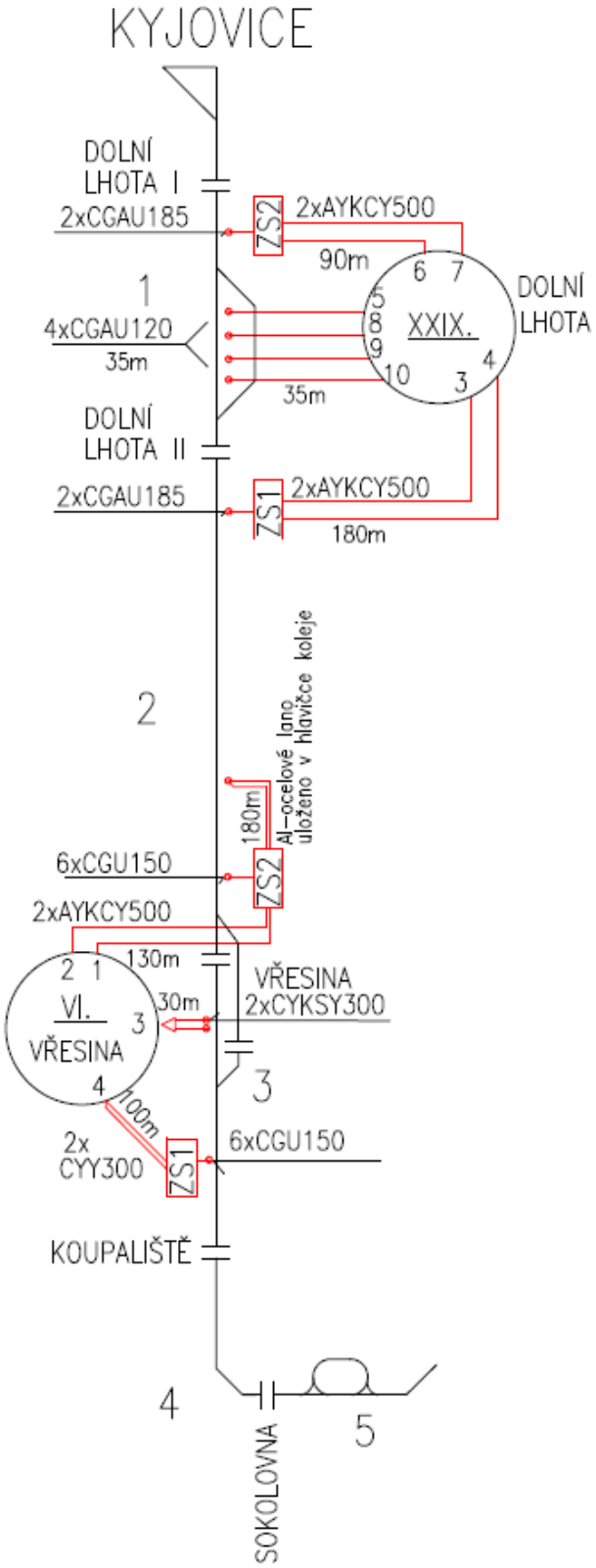
Příloha C *Tabulka:* naměřené hodnoty teplot v hodinových vzorcích

HOD	Čt 18.10.2012	Pá 19.10.2012	So 20.10.2012	Ne 21.10.2012	Po 22.10.2012	Út 23.10.2012	St 24.10.2012
0-1	8,9	8,4	8,0	8,1	8,1	8,2	9,7
1-2	8,0	8,1	7,3	7,9	7,6	8,3	9,5
2-3	7,8	7,8	6,7	7,2	6,7	8,5	9,4
3-4	8,0	7,3	6,3	6,4	6,1	8,3	9,2
4-5	7,7	6,8	5,8	5,8	5,8	8,5	9,3
5-6	7,4	6,6	5,5	5,8	5,6	8,5	9,3
6-7	6,8	6,1	5,2	5,5	5,2	8,3	9,3
7-8	6,9	5,9	5,2	5,1	5,1	8,1	9,3
8-9	7,7	6,9	5,7	5,8	5,8	8,2	9,5
9-10	10,5	9,0	7,7	7,9	7,3	8,5	9,7
10-11	13,5	11,2	10,3	10,3	9,1	8,8	9,9
11-12	15,7	13,4	12,8	12,9	11,1	8,9	10,2
12-13	17,2	15,4	14,8	14,7	13,4	9,1	10,4
13-14	17,5	16,5	16,6	15,9	15,2	9,3	10,8
14-15	17,5	16,9	17,7	16,7	16,1	9,5	11,3
15-16	17,2	16,7	17,6	16,7	15,0	9,7	11,3
16-17	16,3	16,0	16,8	16,0	13,0	9,8	10,9
17-18	14,9	14,4	15,2	14,4	10,3	9,7	10,3
18-19	12,9	13,1	13,3	12,7	9,4	9,8	10,1
19-20	11,7	12,1	11,8	11,4	8,9	9,9	9,9
20-21	11,1	10,6	10,9	10,6	8,5	9,9	9,7
21-22	10,3	9,7	10,2	9,9	8,3	9,8	9,6
22-23	9,4	9,4	9,5	9,2	8,1	9,8	9,6
23-0	8,7	8,5	8,8	8,6	8,0	9,8	9,5

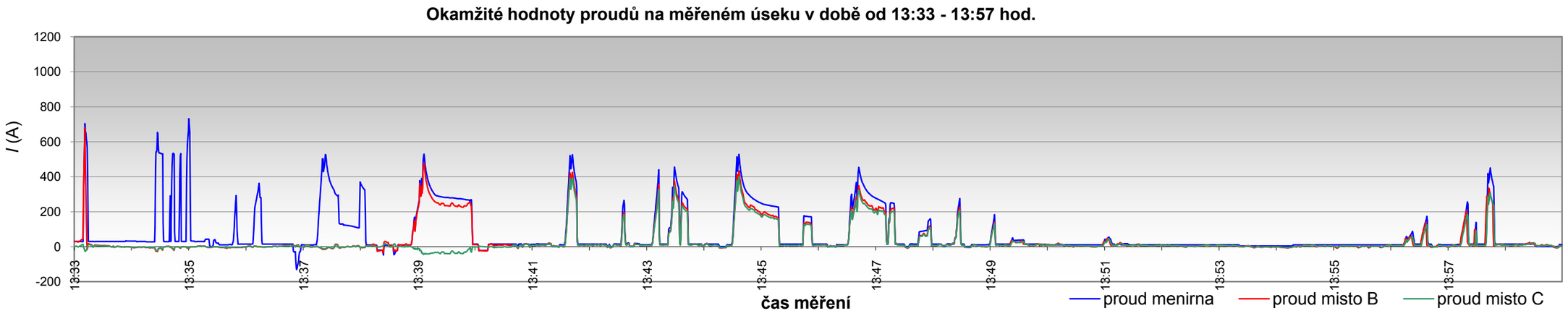
Příloha D *Obrazová příloha:* Napájecí plán trakčního úseku s minusovou polaritou

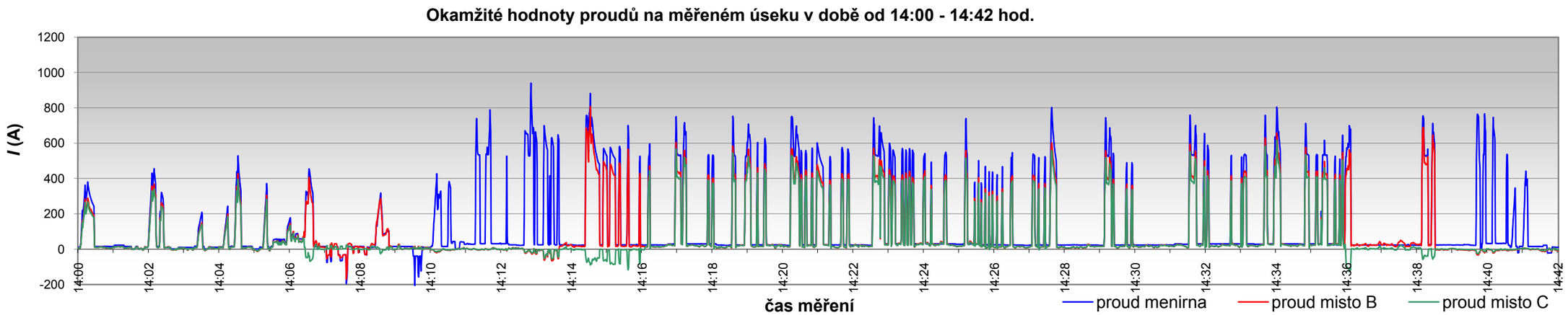


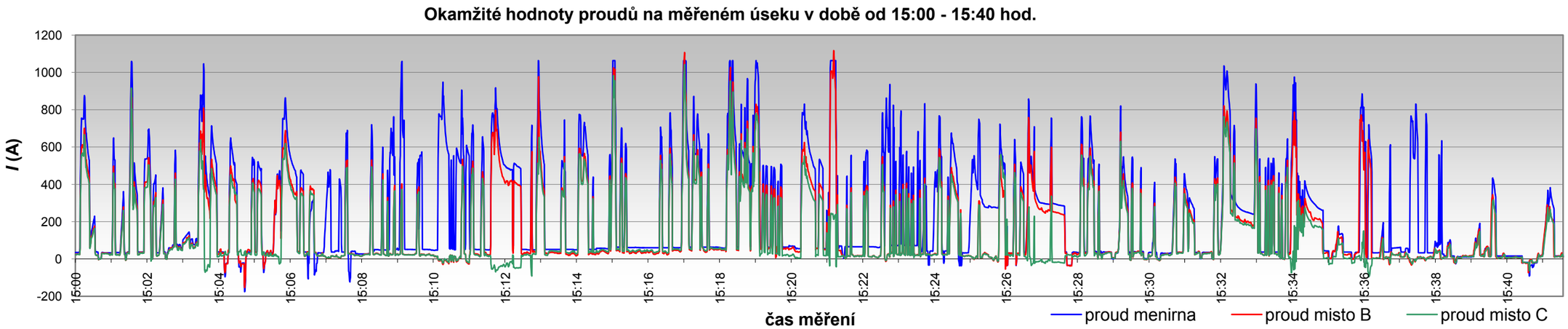
Příloha E *Obrazová příloha:* Napájecí plán trakčního úseku s plusovou polaritou



Příloha F *Grafická závislost:* Okamžitých hodnot proudů na čase v průběhu měření







Příloha G *Obrazová příloha:* Jízdní řád linky č.5, který byl platný v den prováděného měření

5

Platí od 2.9.2012

DOPRAVNÍ PODNIK OSTRAVA

název zastávky	zóna	min
Vřesinská	4	3
Poruba koupaliště	4-9	3
Vřesina	9	1
Nová Plzeň	9	2
Krásné Pole	4-9	3
U Obory	9	1
Dolní Lhota	9	1
Dolní Lhota osada	9-11	2
Horní Lhota	11	2
Zátiší	11	

TARIFNÍ VÝJIMKA PRO KRÁTKODOBÉ JÍZDENKY

Krátkodobé jízdenky pro tarifní oblast Ostrava XXL platí na lince č. 5 v rámci časové platnosti i v úseku Dolní Lhota osada – Zátiší.

Pracovní den	3 ♿	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Vřesinská	07 50	19 37	10 47	17 45	15 45	47	47	47	47	20 55	30	05 34 48	02 16 46	15 45	15 45	47	50	45
Vřesina	13 56	25 43	16 53	23 51	21 51	53	53	53	53	26 01	36	11 40 54	08 22 52	21 51	21 51	53	56	51
Krásné Pole	16 59	28 46	19 56	26 54	24 54	56	56	56	56	29 04	39	14 43 57	11 25 55	24 54	24 54	56	59	54
Dolní Lhota	20 03	32 50	23 00	30 58	28 58	00	00	00	00	33 08	43	18 47	01 15 29 59	28 58	28 58	00	03	58
Zátiší	25 08	37 55	28 05	35 03	33 03	05	05	05	05	38 13	48	23 52	06 20 34	04 33	03 33	03	05	08	03

Pracovní den	21	22	23
Vřesinská	45	45	27
Vřesina	51	51	33
Krásné Pole	54	54	36
Dolní Lhota	58	58	40
Zátiší	03	03	45

5

Platí od 2.9.2012

DOPRAVNÍ PODNIK OSTRAVA

název zastávky	zóna	min
Zátiší	11	2
Horní Lhota	11	2
Dolní Lhota osada	9-11	2
Dolní Lhota	9	1
U Obory	9	3
Krásné Pole	4-9	2
Nová Plzeň	9	1
Vřesina	9	2
Poruba koupaliště	4-9	3
Vřesinská	4	
Vřesinská	4	2
Fakultní nemocnice	4	1-2
Hlavní třída	4	1-2
Rektorát VŠB	4	2
Poruba vozovna	4	

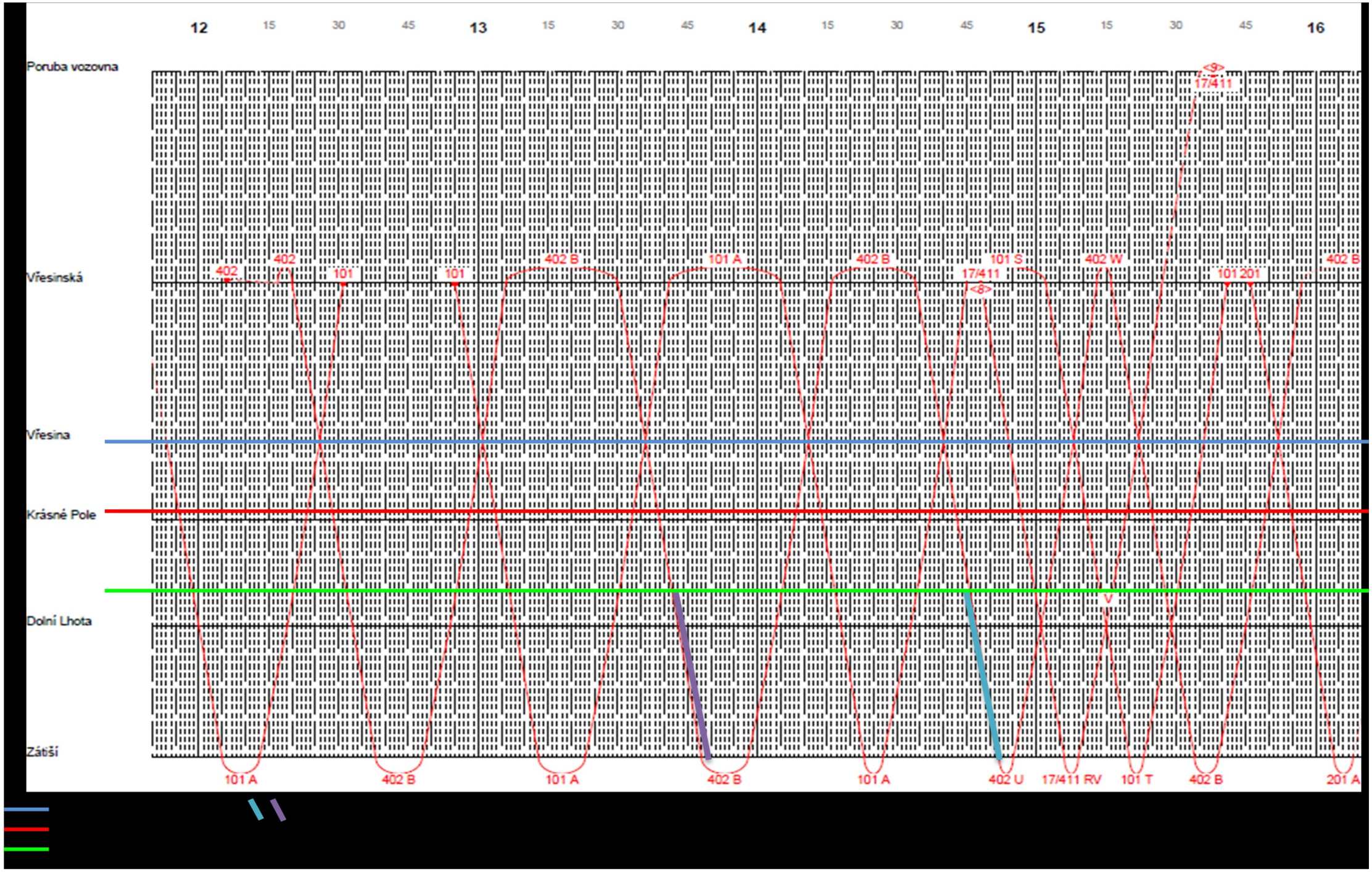
TARIFNÍ VÝJIMKA PRO KRÁTKODOBÉ JÍZDENKY

Krátkodobé jízdenky pro tarifní oblast Ostrava XXL platí na lince č. 5 v rámci časové platnosti i v úseku Zátiší – Dolní Lhota osada.

Pracovní den	3 R	4 ♿N V	5 H H	6 H	7 V	8	9	10	11	12	13	14	15 V	16	17 V	18	19	20	21
Zátiší	28	12 44	03 40	10 38	08 38	08	08	08	08	13 48	23 58	27 55	09 23 39	08 38	08 38	08	08	13	08
Dolní Lhota	34	18 50	09 46	16 44	14 44	14	14	14	14	19 54	29	04 33	01 15 29 45	14 44	14 44	14	14	19	14
Krásné Pole	38	22 54	13 50	20 48	18 48	18	18	18	18	23 58	33	08 37	05 19 33 49	18 48	18 48	18	18	23	18
Vřesina	41	25 57	16 53	23 51	21 51	21	21	21	21	26 01	36	11 40	08 22 36 52	21 51	21 51	21	21	26	21
Vřesinská	46	30 02	21 58	28 56	26 56	26	26	26	26	31 06	41	16 45	13 27 41 57	26 56	26 56	26	26	31	26
Poruba vozovna		10			04								35		04				

Pracovní den	22	23 V	0
Zátiší	08	08 48	
Dolní Lhota	14	14 54	
Krásné Pole	18	18 58	
Vřesina	21	21 01	
Vřesinská	26	26 06	
Poruba vozovna		12	

Příloha H *Grafická závislost:* Grafikon linky č.5, který byl platný v den měření



Příloha CH *Tabulka:* Časy odjezdu tramvajového vozu č. 805 z jednotlivých zastávek, v porovnání s jízdním řádem (grafikon)

název zastávky	čas zavření dveří	grafikon
Zátiší	12:48:02	12:48
Horní Lhota	12:49:58	12:50
Dolní Lhota osada	12:52:23	12:52
Dolní Lhota	12:54:21	12:54
U Obory	12:55:32	12:55
Krásné Pole	12:58:39	12:58
Nová Plzeň	13:00:09	13:00
Vřesina	13:01:38	13:01
Poruba koupaliště	13:03:59	13:03
Vřesinská	13:08:17	13:06

název zastávky	čas zavření dveří	grafikon
Vřesinská	13:30:02	13:30
Poruba koupaliště	13:33:52	13:33
Vřesina	13:36:33	13:36
Nová Plzeň	13:38:02	13:37
Krásné Pole	13:39:41	13:39
U Obory	13:42:23	13:42
Dolní Lhota	13:43:53	13:43
Dolní Lhota osada	13:45:18	13:44
Horní Lhota	13:47:18	13:46
Zátiší	13:49:47	13:48

název zastávky	čas zavření dveří	grafikon
Zátiší	13:58:00	13:58
Horní Lhota	14:00:00	14:00
Dolní Lhota osada	14:01:56	14:02
Dolní Lhota	14:04:02	14:04
U Obory	14:05:13	14:05
Krásné Pole	14:08:22	14:08
Nová Plzeň	14:09:59	14:10
Vřesina	14:11:21	14:11
Poruba koupaliště	14:13:41	14:13
Vřesinská	14:17:37	14:16

název zastávky	čas zavření dveří	grafikon
Vřesinská	14:34:23	14:34
Poruba koupaliště	14:37:23	14:37
Vřesina	14:40:26	14:40
Nová Plzeň	14:42:04	14:41
Krásné Pole	14:43:38	14:43
U Obory	14:46:23	14:46
Dolní Lhota	14:47:53	14:47
Dolní Lhota osada	14:49:22	14:48
Horní Lhota	14:51:11	14:50
Zátiší	14:53:24	14:52

název zastávky	čas zavření dveří	grafikon
Zátiší	14:55:09	14:55
Horní Lhota	14:56:59	14:57
Dolní Lhota osada	14:58:57	14:59
Dolní Lhota	15:01:09	15:01
U Obory	15:02:18	15:02
Krásné Pole	15:05:27	15:05
Nová Plzeň	15:06:52	15:07
Vřesina	15:08:17	15:08
Poruba koupaliště	15:10:37	15:10
Vřesinská	15:15:41	15:13

název zastávky	čas zavření dveří	grafikon
Vřesinská	15:16:08	15:16
Poruba koupaliště	15:19:02	15:19
Vřesina	15:23:20	15:22
Nová Plzeň	15:24:53	15:23
Krásné Pole	15:26:29	15:25
U Obory	15:29:05	15:28
Dolní Lhota	15:30:34	15:29
Dolní Lhota osada	15:31:57	15:30
Horní Lhota	15:33:55	15:32
Zátiší	15:36:23	15:34

název zastávky	čas zavření dveří	grafikon
Zátiší	15:39:00	15:39
Horní Lhota	15:40:57	15:41
Dolní Lhota osada	15:42:58	15:43
Dolní Lhota	15:44:59	15:45
U Obory	15:46:10	15:46
Krásné Pole	15:49:17	15:49
Nová Plzeň	15:50:48	15:51
Vřesina	15:52:20	15:52
Poruba koupaliště	15:54:48	15:54
Vřesinská	16:14:59	15:57

název zastávky	čas zavření dveří	grafikon
Vřesinská	16:15:12	16:15
Poruba koupaliště	16:18:15	16:18
Vřesina	16:21:15	16:21
Nová Plzeň	16:23:07	16:22
Krásné Pole	16:24:39	16:24
U Obory	16:27:18	16:27
Dolní Lhota	16:28:44	16:28
Dolní Lhota osada	16:30:09	16:29
Horní Lhota	16:32:03	16:31
Zátiší	16:34:24	16:33